



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

«Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων»

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**« Αυθεντικοποίηση τρισδιάστατων υπογραφών με χρήση κινητών
συσκευών εφοδιασμένων με αισθητήρες »**

Βουμβουράκης Κ. Ελευθέριος

Επιβλέπων Καθηγητής : Σταμούλης Γεώργιος



1^{ος} Βαθμολογητής : Σταμούλης Γεώργιος, Καθηγητής Π.Θ

2^{ος} Βαθμολογητής : Ευμορφόπουλος Νέστωρ, Λέκτορας Π.Θ

3^{ος} Βαθμολογητής : Μποζάνης Παναγιώτης, Αν. Καθηγητής Π.Θ

Βουμβουράκης Κ. Ελευθέριος

Διπλωματούχος Μηχανικός Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Copyright © Βουμβουράκης Ελευθέριος 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για ερευνητικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων» του τμήματος Μηχανικών Η/Υ Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το ακαδημαϊκό έτος 2011-2012. Πριν προχωρήσω στην παρουσίαση αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της και ιδιαίτερα:

Τους επιβλέποντες καθηγητές κ. Σταμούλη Γεώργιο, κ Ευμορφόπουλο Νέστορα, κ. Μποζάνη Παναγιώτη και τον καθηγητή κ. Κίκιρα Παναγιώτη για την καθοδήγησή τους σε όλη την διάρκεια της έρευνας καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή τους στην εκπόνηση της εργασίας .

Τον διδάκτορα κ. Περλεπέ Λεωνίδα για τις συμβουλές και τις υποδείξεις που μου παρείχε και για την κριτική που έκανε στο κείμενο της εργασίας καθώς επίσης και τους συναδέλφους και φίλους Ρουμελιώτου Κωνσταντίνα και Καραπατή Αθανάσιο για τις πολύτιμες συμβουλές που συνέδραμαν στην ολοκλήρωση της διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου καθώς και όλα τα κοντινά μου πρόσωπα για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία.

Περίληψη

Σε μία εποχή όπου οι ανάγκες για έλεγχο πρόσβασης στα πληροφοριακά συστήματα είναι ιδιαίτερα αυξημένες, η ανάπτυξη αξιόπιστων τεχνικών πιστοποίησης της ταυτότητας ενός ατόμου κατά την πρόσβασή του σε ηλεκτρονικές υπηρεσίες πληροφοριακών συστημάτων αποτελεί τομέα πρωταρχικής σπουδαιότητας. Η επιστήμη της βιομετρίας, χρησιμοποιώντας ψηφιακές τεχνολογίες για αναγνώριση και αυθεντικοποίηση ατόμων βάση μοναδικών φυσικών ή συμπεριφοριστικών χαρακτηριστικών τους, αποτελεί μία από τις πιο ασφαλείς και αξιόπιστες προσεγγίσεις σε προβλήματα διαχείρισης ταυτότητας χρηστών.

Στα πλαίσια των παραπάνω απαιτήσεων υλοποιήθηκε ένα βιομετρικό σύστημα αναγνώρισης χρήστη βάση της υπογραφής που δίνει, μετακινώντας κάποια ασύρματη συσκευή αισθητήρων επιτάχυνσης στο χώρο. Το σύστημα δημιουργεί και αποθηκεύει τα πρότυπα των υπογραφών των εγγεγραμμένων χρηστών τα οποία συγκρίνει με την δοθείσα υπογραφή στην μετέπειτα διαδικασία αναγνώρισης. Η υλοποίηση της εφαρμογής αναγνώρισης έγινε σε γλώσσα JAVA με το σύστημα να χρησιμοποιεί ως συσκευή καταγραφής της κίνησης υπογραφής τον αισθητήρα Waspnote. Ωστόσο, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης ασύρματων συσκευών αισθητήρων των τελευταίων ετών, διατίθεται πληθώρα εναλλακτικών επιλογών, ικανών να αποτελέσουν τον αισθητήρα καταγραφής του συστήματος

Abstract

In a time where the needs for access control in computer systems have highly increased, the development of reliable certification techniques to identify a user, in order to allow access to electronic services have become of great importance. The science of biometry, using digital technologies to recognize and identify users on unique physical or behavioral attributes provides one of the safest and most reliable approaches in computer systems where user identification is required.

Taking into account these needs and the advantages of biometry, a biometrical identification system was developed based on a user's signature, which is given by moving a wireless accelerator device in midair. The system creates and stores the templates of registered users' signatures which are used afterwards to compare a given signature in order to identify a user. The implementation of the identification software was done using the JAVA language and the system uses a Waspnote sensor as the input/recording device of a user's movement. Nevertheless, due to the rapid development in the area of sensor devices in the last years, a wide variety of alternative options is available, that are capable of being deployed as the input/recording device.

Πίνακας περιεχομένων

<i>1 Εισαγωγή</i>	<i>9</i>
1.1 Αντικείμενο μεταπτυχιακής διατριβής	9
1.2 Οργάνωση του τόμου	9
<i>2 Αναγνώριση χρήστη</i>	<i>11</i>
2.1 Ταυτοποίηση και αυθεντικοποίηση	11
2.2 Τεχνικές αυθεντικοποίησης	12
2.2.1 Γνώση πληροφορίας (SYK)	12
2.2.2 Κατοχή αντικειμένου (SYH)	13
2.2.3 Φυσικά χαρακτηριστικά (SYA)	14
2.3 Η επιστήμη της βιομετρίας	14
2.3.1 Βιομετρικά χαρακτηριστικά	14
2.3.2 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	16
2.4 Βιομετρικά συστήματα	16
2.4.1 Περιγραφή λειτουργίας	17
2.4.2 Δυνατότητες	18
2.4.3 Μέτρα απόδοσης	18
2.4.4 Όριο ανοχής σε αποκλίσεις	19
<i>3 Συσκευές αισθητήρων</i>	<i>21</i>
3.1 Imote2	21
3.1.1 Βασική πλακέτα Imote2	22
3.1.2 Μονάδα αισθητήρων ITS400	23
3.1.2.1 Αισθητήρας επιτάχυνσης	23
3.1.3 Μονάδα τροφοδοσίας IBB2400	23
3.1.4 Μονάδα διεπαφής IIB2400	24
3.1.4.1 Διασύνδεση με τον υπολογιστή	25
3.2 Wasp mote	26
3.2.1 Βασική πλακέτα Wasp mote	26
3.2.1.1 Αισθητήρας επιτάχυνσης	27
3.2.2 Μονάδες ασύρματης επικοινωνίας	27
3.2.2.1 Μονάδες Xbee	27
3.2.3 Διασύνδεση με τον υπολογιστή	28
3.3 iSense	29
3.3.1 Βασική πλακέτα iSense	30
3.3.2 Μονάδες αισθητήρων	31

3.3.2.1 Αισθητήρας επιτάχυνσης.....	31
3.3.3 Μονάδες τροφοδοσίας.....	32
3.3.4 Διασύνδεση με τον υπολογιστή	33
4 Περιγραφή συστήματος.....	34
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά	34
4.1.1 Αρχιτεκτονική συστήματος	34
4.1.2 Ροή δεδομένων και εργασιών.....	35
4.1.3 Περιγραφή βασικών λειτουργιών	37
4.2 Ασύρματος αισθητήρας	40
4.2.1 Συλλογή μετρήσεων.....	40
4.2.2 Αφαίρεση θορύβου	42
4.2.3 Αποστολή δεδομένων	43
4.3 Σύστημα αυθεντικοποίησης.....	44
4.3.1 Καταγραφή δεδομένων.....	45
4.3.2 Εξαγωγή κρίσιμων χαρακτηριστικών	46
4.3.2.1 Τοπικά χαρακτηριστικά	47
4.3.2.2 Καθολικά χαρακτηριστικά	47
4.3.3 Ευθυγράμμιση ακολουθιών	48
4.3.3.1 Ο αλγόριθμος DTW.....	50
4.3.4 Δημιουργία προτύπου	51
4.3.5 Σύγκριση προτύπων.....	54
4.4 Μονάδα αποθήκευσης.....	56
4.4.1 Σύστημα αρχείων	56
4.4.2 Βάση δεδομένων	57
5 Παράδειγμα χρήσης συστήματος	59
5.1 Αισθητήρας μέτρησης.....	59
5.2 Σύστημα αυθεντικοποίησης.....	60
5.2.1 Εγγραφή χρήστη	60
5.2.1 Αναγνώριση χρήστη.....	68
6 Επίλογος	71
6.1 Συμπεράσματα	71
6.2 Μελλοντικές προσθήκες και επεκτάσεις	72
7 Βιβλιογραφία	73

<i>Παράρτημα – Αποσπάσματα κώδικα</i>	<i>75</i>
<i>A) Επικοινωνία εφαρμογής με σειριακή Θύρα.....</i>	<i>75</i>
<i>B) Αλγόριθμος Dynamic Time Warping (DTW)</i>	<i>76</i>
<i>Γ) Υπολογισμός μέσου όρου ακολουθιών.....</i>	<i>79</i>
<i>Δ) Υλοποίηση αισθητήρα Waspmote</i>	<i>80</i>

1 ***Εισαγωγή***

Το ζήτημα της ασφάλειας των πληροφοριακών συστημάτων αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε μια εποχή όπου η τεχνολογία, ο ανταγωνισμός και οι αυξημένες απαιτήσεις των επιχειρήσεων απαιτούν τη λήψη αυστηρότερων πολιτικών ασφαλείας. Μεταξύ αυτών, είναι ο έλεγχος πρόσβασης που αφορά στην αναγνώριση και αυθεντικοποίηση των χρηστών και συμβάλλει σημαντικά στην προστασία επικοινωνιών ή αποθηκευμένων δεδομένων έναντι υποκλοπής και ανάγνωσης από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Σε αντίθεση με συμβατικές μεθόδους ασφαλείας όπως οι κωδικοί πρόσβασης και τα κλειδιά ασφαλείας, που μπορούν εύκολα να χαθούν, κλαπούν ή ξεχαστούν, οι βιομετρικές τεχνολογίες προσφέρουν αξιόπιστες λύσεις στο πρόβλημα της διαχείρισης της ταυτότητας των χρηστών και της ασφαλούς πρόσβασης σε υπηρεσίες πληροφοριακών συστημάτων.

1.1 Αντικείμενο μεταπτυχιακής διατριβής

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, παρουσιάζεται ένα βιομετρικό σύστημα που υλοποιήθηκε για την αναγνώριση των χρηστών, βάσει των υπογραφών που δίνουν χρησιμοποιώντας ειδικό αισθητήρα. Συγκεκριμένα, ο χρήστης κρατώντας κάποια ασύρματη κινητή συσκευή εφοδιασμένη με αισθητήρα επιτάχυνσης και μετακινώντας την στο χώρο, υποβάλλει την υπογραφή του η οποία και αποτελεί την ταυτότητα του στο σύστημα. Για είσοδο του εκάστοτε χρήστη πραγματοποιείται έλεγχος πρόσβασης σύμφωνα με την υπογραφή που έχει δοθεί από αυτόν και ανάλογα με την εγκυρότητα της, ο χρήστης αναγνωρίζεται ή απορρίπτεται.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρατίθεται μια σύντομη περιγραφή του αντικειμένου της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας καθώς επίσης και η οργάνωση του τόμου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις τεχνικές ταυτοποίησης και αυθεντικοποίησης χρήστη, εστιάζοντας στα βιομετρικά συστήματα, στον τρόπο λειτουργίας τους και στα μέτρα απόδοσής τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται, ενδεικτικά, κάποιες από τις διαθέσιμες κινητές συσκευές αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση των απαραίτητων βιομετρικών χαρακτηριστικών των χρηστών του συστήματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στους αισθητήρες επιτάχυνσης που διαθέτουν και στον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν με το βιομετρικό σύστημα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται περιγραφή των γενικών χαρακτηριστικών του συστήματος αυθεντικοποίησης που υλοποιήθηκε και αναλύεται η λειτουργία των επιμέρους υποσυστημάτων που το απαρτίζουν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται συνοπτικά ένα παράδειγμα χρήσης του συστήματος όπου επισημαίνονται οι ενέργειες που πρέπει να εκτελέσουν οι χρήστες του και τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε μία από αυτές.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη χρήση του συστήματος και αναφέρονται πιθανές μελλοντικές προσθήκες και επεκτάσεις του.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η βιβλιογραφία από όπου αντλήθηκαν οι πληροφορίες που βοήθησαν στην συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Τέλος, στο παράρτημα του τόμου παρουσιάζονται αποσπάσματα κώδικα υλοποίησης ορισμένων βασικών τμημάτων του συστήματος.

2

Αναγνώριση χρήστη

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από την ραγδαία ανάπτυξη και την γενικευμένη χρήση της τεχνολογίας της πληροφορικής και των επικοινωνιών, με τους υπολογιστές και τα πληροφοριακά συστήματα να χρησιμοποιούνται καθημερινά και σε πληθώρα ανθρώπινων δραστηριοτήτων και εργασιών.

Βασική προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία αλλά και την ασφάλεια ενός πληροφοριακού συστήματος, αποτελεί η ύπαρξη κάποιου αξιόπιστου συστήματος αναγνώρισης χρήστη, το οποίο αναλαμβάνει την εξουσιοδότηση των χρηστών προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση στους πόρους του πληροφοριακού συστήματος.



Εικόνα 2-1 : Περιπτώσεις πληροφοριακών συστημάτων που υποστηρίζουν αναγνώριση χρήστη.

2.1 Ταυτοποίηση και αυθεντικοποίηση

Η διαδικασία που ακολουθείται για να επιτευχθεί η αναγνώριση ενός χρήστη από ένα σύστημα αποτελείται από δύο βασικά στάδια, το στάδιο της ταυτοποίησης και το στάδιο της αυθεντικοποίησης. Η διαδικασία ταυτοποίησης στοχεύει στην αναγνώριση της ταυτότητας του χρήστη ενώ η διαδικασία αυθεντικοποίησης στην επαλήθευση της ταυτότητας του. Πιο συγκεκριμένα: [\[1\]\[2\]](#)

Ταυτοποίηση ενός λογικού υποκειμένου, καλείται η διαδικασία εκείνη, κατά την οποία το λογικό αντικείμενο παρέχει σε ένα πληροφοριακό σύστημα τις πληροφορίες που απαιτούνται προκειμένου να συσχετιστεί με ένα από τα αντικείμενα που δικαιούνται προσπέλασης στους πόρους του.

Αυθεντικοποίηση ενός λογικού υποκειμένου, καλείται η διαδικασία εκείνη, κατά την οποία το λογικό αντικείμενο παρέχει σε ένα πληροφοριακό σύστημα τις πληροφορίες που απαιτούνται προκειμένου να ελεγχθεί η βασιμότητα της συσχέτισης που επιτεύχθηκε κατά την διαδικασία της ταυτοποίησης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της πληροφορίας που απαιτείται για την αναγνώριση ενός προσώπου (ταυτοποίηση) με την πληροφορία που απαιτείται για την επιβεβαίωση ότι το εν λόγω πρόσωπο είναι πράγματι το πρόσωπο το οποίο ισχυρίζεται (αυθεντικοποίηση).

Το σύστημα αυθεντικοποίησης είναι μείζονος σημασίας για την ασφάλεια του πληροφοριακού συστήματος καθώς αποτελεί την πρώτη ισχυρή γραμμή άμυνας του απέναντι σε κακόβουλους χρήστες. Επιπλέον, η αξιοπιστία του συγκεκριμένου συστήματος είναι αναγκαία επειδή η ταυτότητα του χρήστη αποτελεί την βασική παράμετρο για την λήψη αποφάσεων ελέγχου προσπέλασης στο πληροφοριακό σύστημα.

2.2 Τεχνικές αυθεντικοποίησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σύστημα αυθεντικοποίησης αποσκοπεί στο να αποτρέψει την πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων χρηστών στο υπολογιστικό σύστημα, απαιτώντας τους να επικυρώσουν την ταυτότητα τους πριν τους επιτραπεί να το χρησιμοποιήσουν. Η επικύρωση της ταυτότητας ενός χρήστη μπορεί να επιτευχθεί με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

Την γνώση μίας πληροφορίας ('Something You Know - SYK').

Την φυσική κατοχή ενός αντικειμένου ('Something You Have - SYH').

Το ταίριασμα φυσικών χαρακτηριστικών ('Something You Are - SYA').

2.2.1 Γνώση πληροφορίας (SYK)

Η τεχνική αυθεντικοποίησης (SYK) προϋποθέτει την απομνημόνευση από τον χρήστη μιας μυστικής πληροφορίας/συμβολοσειράς η οποία ονομάζεται κωδικός πρόσβασης (ή συνθηματικό) και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αυθεντικότητας του χρήστη. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιας πληροφορίας είναι κωδικοί οι οποίοι

είτε δεν αλλάζουν ή αλλάζουν σπάνια (Passwords, PINS) οι απαντήσεις σε ερωτήσεις ασφαλείας, οι κωδικοί μιας χρήσης κ.α.

Το βασικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η εξαιρετικά μικρή πιθανότητα κλοπής του κωδικού καθώς αποτελεί επίκτητο δεδομένο. Στα πλεονεκτήματα επίσης περιλαμβάνονται η εύκολη υλοποίηση και εφαρμογή σε πληροφοριακά συστήματα, το χαμηλό κόστος και η δυνατότητα τροποποίησης του κωδικού από τον χρήστη. Σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα παραβίασης του κωδικού με χρήση αυτοματοποιημένων μεθόδων.

2.2.2 Κατοχή αντικειμένου (SYH)

Η τεχνική αυθεντικοποίησης (SYH) απαιτεί από τον χρήστη την φυσική κατοχή ενός ειδικού αντικειμένου το οποίο και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αυθεντικότητας του. Αποτελεί την απλούστερη αλλά λιγότερο ασφαλή και αξιόπιστη τεχνική αυθεντικοποίησης με αποτέλεσμα να συνδυάζεται συνήθως με κάποια από τις άλλες δυο τεχνικές. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων αντικειμένων αποτελούν τα κουπόνια (tokens), οι μαγνητικές κάρτες (magnetic cards), οι έξυπνες κάρτες (smart cards) κ.α.

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η δυσκολία αντιγραφής των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται, καθώς κατασκευάζονται από ειδικά υλικά τα οποία δεν είναι ευρέως διαθέσιμα. Όσον αφορά τα μειονεκτήματα τα σημαντικότερα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής αλλά και η αυξημένη πιθανότητα απώλειας ή/και κλοπής των αντικειμένων.

Προστατευόμενος πόρος	Κάτι που γνωρίζεις	Κάτι που έχεις	Κάτι που είσαι
Πλατφόρμα, Host	Όνομα χρήστη/συνθηματικό	Ιδιωτικό κλειδί - Έξυπνη κάρτα	Βιομετρικό σύστημα
Σύστημα Διαχείρισης Δικτύου	Όνομα χρήστη/συνθηματικό	Ιδιωτικό κλειδί - Έξυπνη κάρτα - Ψηφιακό πιστοποιητικό	Βιομετρικό σύστημα
Υπηρεσία Δικτύου (Web, FTP, Telnet)	Όνομα χρήστη/συνθηματικό	Ιδιωτικό κλειδί - Έξυπνη κάρτα	
Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων	Όνομα χρήστη/συνθηματικό		Βιομετρικό σύστημα

Εικόνα 2-2 : Παραδείγματα τεχνικών αυθεντικοποίησης για πρόσβαση σε προστατευόμενους πόρους [1]

2.2.3 Φυσικά χαρακτηριστικά (SYA)

Η τεχνική αυθεντικοποίησης (SYA) βασίζεται στις βιομετρικές μεθόδους οι οποίες αφορούν το ταίριασμα συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του ατόμου και θα περιγραφούν εκτενώς στις επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου καθώς σχετίζονται άμεσα με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. [\[1\]\[2\]](#)

2.3 Η επιστήμη της βιομετρίας

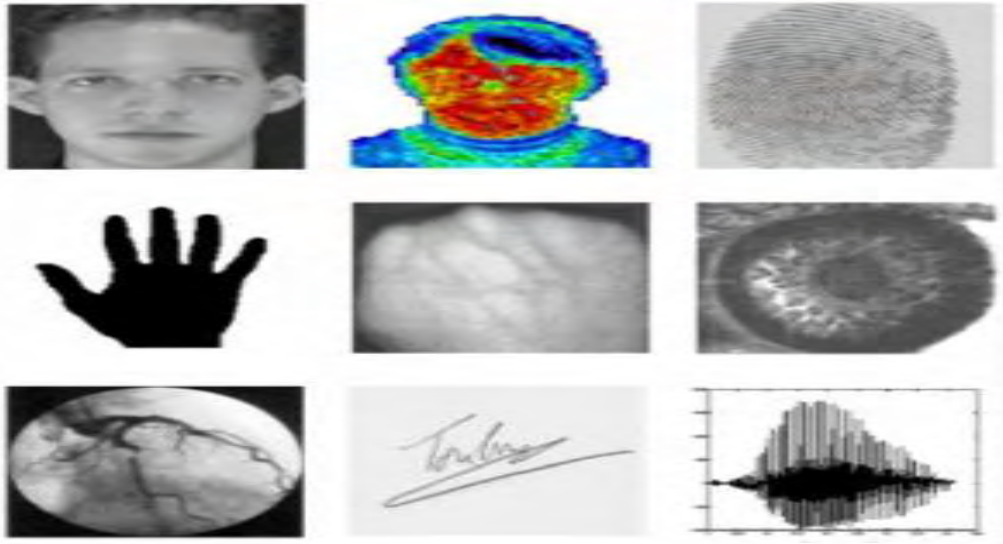
Βιομετρία είναι η επιστήμη, η οποία χρησιμοποιεί τεχνικές αναγνώρισης προτύπων που αφορούν φυσικά χαρακτηριστικά ή χαρακτηριστικά συμπεριφοράς ενός ατόμου, προς προσδιορισμό της ταυτότητας του. Στόχος είναι η παροχή ασφάλειας υψηλών προδιαγραφών με την αντικατάσταση των κωδικών ασφαλείας από πληροφορία που είναι εγγενής στον κάθε χρήστη.

2.3.1 Βιομετρικά χαρακτηριστικά

Βιομετρικά χαρακτηριστικά ονομάζονται τα χαρακτηριστικά, τα οποία θεωρούνται μοναδικά για κάθε άτομο και συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναγνώριση της ταυτότητάς του. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να είναι είτε φυσικά χαρακτηριστικά του ατόμου είτε γνωρίσματα συμπεριφοράς του.

Στην κατηγορία των φυσικών βιομετρικών χαρακτηριστικών ανήκουν τα γνωρίσματα του ατόμου που αφορούν την φυσιολογία του όπως τα δακτυλικά αποτυπώματα, η γεωμετρία προσώπου, το αποτύπωμα της παλάμης, η ίριδα του ματιού, το γενετικό υλικό κ.α.

Όσον αφορά τα βιομετρικά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς, στην κατηγορία αυτή ανήκουν γνωρίσματα που σχετίζονται με ιδιαιτερότητες στον τρόπο με τον οποίο το άτομο συμπεριφέρεται ή εκτελεί μια εργασία και είναι η άρρηκτα συνδεδεμένα με την ψυχολογία του ατόμου την δεδομένη στιγμή. Μερικά παραδείγματα βιομετρικών χαρακτηριστικών συμπεριφοράς είναι η δυναμική πληκτρολόγησης, ο βηματισμός, η υπογραφή κ.α.



Εικόνα 2-3 : Κοινά βιομετρικά χαρακτηριστικά [5]

Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε κατηγορία από τις παραπάνω ενδέχεται να περιέχει και στοιχεία της άλλης σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μορφολογία του προσώπου που ενώ ανήκει στην κατηγορία των φυσικών βιομετρικών χαρακτηριστικών εξαρτάται έντονα και από την ψυχολογική κατάσταση του ατόμου.

Για την αξιολόγηση των βιομετρικών χαρακτηριστικών και ενδεχόμενη χρήση τους σε εφαρμογές αναγνώρισης ατόμων, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω παράμετροι:

Καθολικότητα: Αναφέρεται στον βαθμό εμφάνισης/ύπαρξης του βιομετρικού χαρακτηριστικού σε όλα τα άτομα.

Μοναδικότητα: Περιγράφει την ικανότητα του βιομετρικού χαρακτηριστικού να διαχωρίσει ένα άτομο από τα υπόλοιπα.

Μονιμότητα: Αφορά την δυνατότητα του βιομετρικού χαρακτηριστικού να παραμένει αναλλοίωτο στο πέρασμα του χρόνου.

Συλλεξιμότητα: Αναφέρεται στην δυνατότητα συλλογής του βιομετρικού χαρακτηριστικού.

Αποδοτικότητα: Μετράει την ακρίβεια, την ταχύτητα και την αξιοπιστία του συστήματος που χρησιμοποιείται για την συλλογή των δεδομένων του βιομετρικού χαρακτηριστικού.

Αποδοχή: Δείχνει τον βαθμό αποδοχής της τεχνολογίας που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο βιομετρικό χαρακτηριστικό, από το ευρύ κοινό.

Εξαπάτηση: Περιγράφει τον βαθμό δυσκολίας εξαπάτησης του συστήματος αναγνώρισης που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο βιομετρικό χαρακτηριστικό.

2.3.2 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

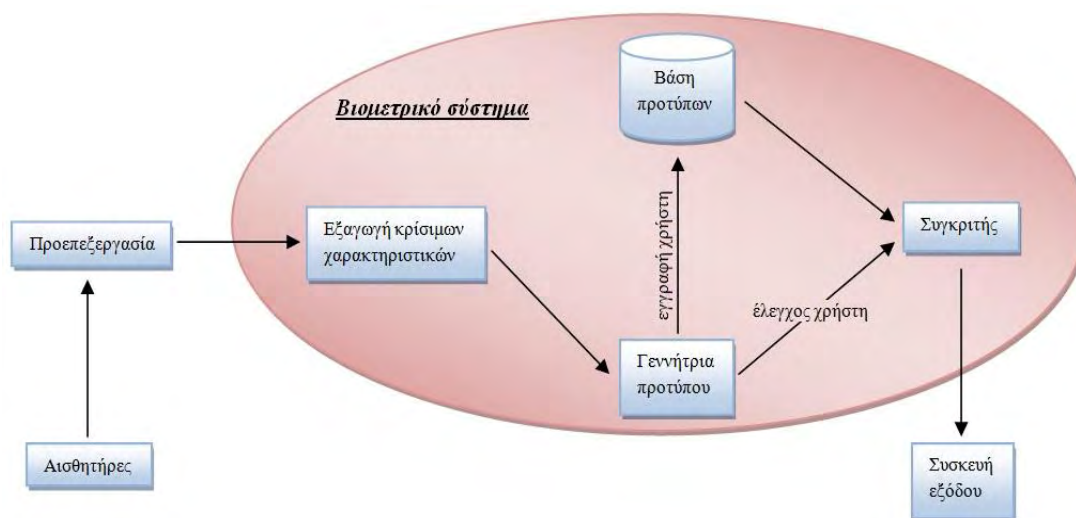
Βασικό πλεονέκτημα της χρήσης των βιομετρικών χαρακτηριστικών, αποτελεί η ευκολία στη χρήση τους καθώς δεν απαιτούν την απομνημόνευση συνθηματικού πρόσβασης, την κατοχή κάποιας ειδικής συσκευής από τον χρήστη και την συχνή τροποποίησή τους για διατήρηση υψηλού επιπέδου ασφάλειας. Αντίθετα η πιθανότητα ορθής αναγνώρισης ενός χρήστη, βασίζεται αποκλειστικά και μόνο σε μοναδικά φυσικά χαρακτηριστικά του και συνεπώς η ασφάλεια που παρέχουν είναι αισθητά μεγαλύτερη σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές αυθεντικοποίησης.

Από την άλλη μεριά, τα βασικότερα μειονεκτήματα των βιομετρικών τεχνικών είναι το υψηλό κόστος κατασκευής οι αργοί χρόνοι απόκρισης και οι απαιτήσεις για μεγάλες βάσεις δεδομένων, μειονεκτήματα ωστόσο που αφορούν κυρίως τα πρώτα βιομετρικά συστήματα που είχαν κυκλοφορήσει και πλέον έχουν εκλείψει σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον οι μακροσκελείς διαδικασίες καταχώρησης και το υψηλό ποσοστό απόρριψης μπορεί να προκαλέσουν την δυσαρέσκεια του χρήστη. Τέλος, στα μειονεκτήματα πρέπει να σημειωθεί η επιφυλακτικότητα μερικών χρηστών να χρησιμοποιήσουν τις εν λόγω μεθόδους, λόγω διαφόρων κοινωνικών αντιλήψεων που επικρατούν και τις συνδυάζουν με δραστηριότητες που στο παρελθόν προκαλούσαν τον στιγματισμό του ατόμου. [3]

2.4 Βιομετρικά συστήματα

Βιομετρικό σύστημα ονομάζεται κάθε σύστημα το οποίο εξάγει και χρησιμοποιεί βιομετρικά χαρακτηριστικά ενός ατόμου, προκειμένου να εξακριβώσει την ταυτότητά του. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται συνοπτικά η λειτουργία των βιομετρικών συστημάτων, οι δυνατότητες που παρέχει η χρήση τους, τα μέτρα απόδοσης και αξιοπιστίας τους αλλά και το σημαντικό θέμα της ανοχής που πρέπει να επιδεικνύει ένα βιομετρικό σύστημα, σε μικρές αποκλίσεις, κατά την διαδικασία της σύγκρισης των δεδομένων.

2.4.1 Περιγραφή λειτουργίας



Εικόνα 2-4 : Διάγραμμα λειτουργίας βιομετρικού συστήματος [7]

Κατά το πρώτο στάδιο λειτουργίας ενός βιομετρικού συστήματος γίνεται η συλλογή των δεδομένων του βιομετρικού χαρακτηριστικού από το άτομο, με χρήση ειδικών αισθητήρων. Οι αισθητήρες αποτελούν την διεπαφή μεταξύ του πραγματικού κόσμου και του βιομετρικού συστήματος και η λειτουργία τους καθορίζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

Στο στάδιο της προ-επεξεργασίας που ακολουθεί, γίνεται εφαρμογή κάποιων φίλτρων με σκοπό την απομόνωση ή την μείωση του θορύβου των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες. Στην συνέχεια, από το σύνολο της ληφθείσας πληροφορίας, γίνεται επιλογή των χαρακτηριστικών εκείνων που είναι ικανά να διαχωρίσουν ένα άτομο από οποιοδήποτε άλλο και παράγεται ένα διάνυσμα που περιλαμβάνει τα εν λόγω χαρακτηριστικά.

Στο επόμενο στάδιο του συστήματος βρίσκεται η γεννήτρια προτύπου η οποία επεμβαίνει στο παραπάνω διάνυσμα, τροποποιώντας κάποια χαρακτηριστικά του, και δημιουργώντας τελικά το πρότυπο. Το πρότυπο αποτελεί την ταυτότητα του χρήστη στο σύστημα και είναι μία σύνθεση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους αισθητήρες, με τις τροποποιήσεις που υπέστησαν στα επόμενα στάδια.

Τέλος, το σύστημα εκτελεί είτε την διαδικασία της εγγραφής είτε της σύγκρισης, αποθηκεύοντας το πρότυπο στην βάση δεδομένων του συστήματος ή εξάγοντας μια βαθμολογία ομοιότητας μεταξύ του νέου και των αποθηκευμένων προτύπων αντίστοιχα. Η βαθμολογία που προκύπτει στην περίπτωση της σύγκρισης,

χρησιμοποιείται από το σύστημα για την αποδοχή ή απόρριψη του χρήστη και συνεπώς για την λήψη κάποιας απόφασης από την εφαρμογή.

2.4.2 Δυνατότητες

Οι δύο βασικές δυνατότητες που παρέχει η χρήση ενός βιομετρικού συστήματος είναι η ταυτοποίηση και η επαλήθευση χρήστη.

Κατά την διαδικασία της ταυτοποίησης, εξάγονται βιομετρικά δεδομένα από κάποιον χρήστη και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα όλων των εγγεγραμμένων στο σύστημα χρηστών. Η ταυτοποίηση επομένως είναι η διαδικασία που δίνει απάντηση στο ερώτημα «Ποιο είναι αυτό το άτομο;» πραγματοποιώντας σύγκριση ένα-προς-πολλά.

Από την άλλη μεριά, κατά την διαδικασία της επαλήθευσης, τα βιομετρικά δεδομένα που εξάγονται από κάποιον χρήστη συγκρίνονται με τα ήδη υπάρχοντα στην βάση δεδομένα που αντιστοιχούν στον χρήστη τον οποίο ο πρώτος υπαινίσσεται. Η διαδικασία επομένως της επαλήθευσης δίνει απάντηση στο ερώτημα «Είναι όντως αυτό το άτομο εκείνο που ισχυρίζεται ότι είναι;», πραγματοποιώντας μια σύγκριση ένα-προς-ένα.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η διαδικασία της ταυτοποίησης είναι μια πιο περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία σε σχέση με αυτήν της επαλήθευσης, καθώς για την αναγνώριση της ταυτότητας του ατόμου απαιτούνται τόσες συγκρίσεις όσες και οι καταχωρήσεις στην βάση δεδομένων του συστήματος, αριθμός που για τα περισσότερα συστήματα είναι αρκετά μεγάλος.

2.4.3 Μέτρα απόδοσης

Η απόδοση και η αξιοπιστία ενός βιομετρικού συστήματος καθορίζεται από τις τιμές διαφόρων μέτρων, τα βασικότερα των οποίων είναι τα:

Ποσοστό λανθασμένων αποδοχών (False Accept Rate - FAR): Αναφέρεται στην πιθανότητα με την οποία το σύστημα, ταιριάζει το πρότυπο ενός μη εξουσιοδοτημένου χρήστη, με κάποιο από τα πρότυπα που είναι αποθηκευμένα στην βάση δεδομένων του, αναγνωρίζοντας τον λανθασμένα, ως εξουσιοδοτημένο.

Ποσοστό λανθασμένων απορρίψεων (False Reject Rate-FRR): Αναφέρεται στην πιθανότητα με την οποία το βιομετρικό σύστημα, αποτυγχάνει το ταίριασμα του

προτύπου ενός εξουσιοδοτημένου χρήστη, με το αντίστοιχο που είναι αποθηκευμένο στην βάση δεδομένων του, θεωρώντας τον λανθασμένα, ως μη εξουσιοδοτημένο.

Πιθανότητα αποτυχίας εγγραφής (Failure to Enroll Rate - FER): Αποτελεί την πιθανότητα με την οποία το σύστημα, αποτυγχάνει να δημιουργήσει πρότυπο από τα ληφθέντα δεδομένα εισόδου, γεγονός που συνήθως οφείλεται σε χαμηλή ποιότητα των τελευταίων.

Πιθανότητα αποτυχίας λήψης (Failure to Capture Rate - FCR): Αποτελεί την πιθανότητα με την οποία το σύστημα αποτυγχάνει να εντοπίσει στον χρήστη το απαιτούμενο βιομετρικό χαρακτηριστικό ή/και να λάβει τα αντίστοιχα δεδομένα.

Μέσος χρόνος απόκρισης (Average Response Time - ART): Αναφέρεται στον χρόνο που χρειάζεται το σύστημα, από τη στιγμή που θα λάβει τα βιομετρικά δεδομένα από τον χρήστη έως την στιγμή που θα αποφανθεί την αποδοχή ή την απόρριψη του. Στην περίπτωση της ταυτοποίησης ο χρόνος αυτός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με το πλήθος των προτύπων που υπάρχουν αποθηκευμένα στην βάση του συστήματος την δεδομένη στιγμή.

Χωρητικότητα προτύπων (Template Capacity - TC): Περιγράφει τον μέγιστο αριθμό προτύπων που μπορούν να αποθηκευτούν στο σύστημα.

2.4.4 Όριο ανοχής σε αποκλίσεις

Ένας εξαιρετικά κρίσιμος παράγοντας για την σωστή λειτουργία ενός βιομετρικού συστήματος, αποτελεί το όριο ανοχής που θα επιδεικνύει το σύστημα, κατά την διαδικασία της σύγκρισης των προτύπων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις βιομετρικών συστημάτων είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθεί απόλυτη ταύτιση του προτύπου που δημιουργήθηκε κατά την εγγραφή του χρήστη, με αυτό που θα δημιουργηθεί όταν κάποια στιγμή ο χρήστης επιχειρήσει να αναγνωριστεί από το σύστημα. Το γεγονός αυτό οφείλεται τόσο σε περιβαλλοντικούς όσο και σε ψυχολογικούς παράγοντες οι οποίοι διαφοροποιούν σε κάποιο βαθμό το βιομετρικό χαρακτηριστικό που λαμβάνεται και επηρεάζουν την συνολική διαδικασία της αναγνώρισης.

Σύμφωνα με αυτήν την παραδοχή, ένα βιομετρικό σύστημα που θα απαιτούσε πλήρη ταύτιση των προτύπων προκειμένου να επιτρέψει την πρόσβαση, θα ήταν πρακτικά άχρηστο, καθώς θα κατέληγε να απορρίπτει ακόμα και εξουσιοδοτημένους χρήστες, παρουσιάζοντας κατά αυτόν τον τρόπο υψηλό ποσοστό λανθασμένων απορρίψεων. Από την άλλη μεριά, ένα σύστημα με μεγάλο επίπεδο ανοχής, θα ήταν ιδιαίτερα

ευάλωτο στην εξαπάτηση του από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες παρουσιάζοντας υψηλό ποσοστό λανθασμένων αποδοχών.

Η επιλογή λοιπόν κατάλληλου ορίου ανοχής σε αποκλίσεις, είναι κρίσιμης σημασίας προκειμένου το βιομετρικό σύστημα να είναι αφενός λειτουργικό και αφετέρου να προσφέρει υψηλών προδιαγραφών ασφάλεια. [\[3\]](#)[\[4\]](#)[\[6\]](#)[\[8\]](#)

3 *Συσκευές αισθητήρων*

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το πρώτο στάδιο λειτουργίας ενός βιομετρικού συστήματος αναγνώρισης χρήστη, είναι η λήψη των βιομετρικών του δεδομένων, από ειδικούς αισθητήρες. Οι αισθητήρες αποτελούν τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στο φυσικό περιβάλλον και το βιομετρικό σύστημα και τόσο ο τύπος, όσο και η λειτουργία τους, καθορίζονται από το είδος και τις ιδιαιτερότητες -του προς μέτρηση- βιομετρικού χαρακτηριστικού.

Για την λειτουργία του συστήματος αναγνώρισης που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, απαιτείται η συλλογή δεδομένων που περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης κρατώντας στο χέρι του μια συσκευή και μετακινώντας την στο χώρο, δίνει την υπογραφή του. Συνεπώς, οι συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι κινητές και εφοδιασμένες με αισθητήρες μέτρησης της επιτάχυνσης στις τρεις διαστάσεις του χώρου.

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού, είναι η παρουσίαση μερικών συσκευών που πληρούν τις παραπάνω προδιαγραφές, είναι διαθέσιμες στην αγορά και επομένως μπορούν να αποτελέσουν τις συσκευές εισόδου του εν λόγω συστήματος. Θα γίνει περιγραφή των βασικών τεχνικών χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων καθεμιάς εξ' αυτών, εστιάζοντας στον αισθητήρα επιτάχυνσης που περιλαμβάνει, αλλά και στον τρόπο με τον οποίο επικοινωνεί με το υπόλοιπο σύστημα.

3.1 *Imote2*



Εικόνα 3-1 : *Imote2*

Το **Imote2** είναι μία ασύρματη πλατφόρμα αισθητήρων, η οποία αναπτύχθηκε από την **Crossbow**, μια εταιρία που εδρεύει στην Καλιφόρνια και ειδικεύεται στην κατασκευή αισθητήρων και ασυρμάτων μονάδων. Πρόκειται για μια πλατφόρμα προηγμένης τεχνολογίας, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και υψηλών επιδόσεων, ικανή να υποστηρίξει τις ανάγκες ακόμα και των πιο απαιτητικών εφαρμογών.

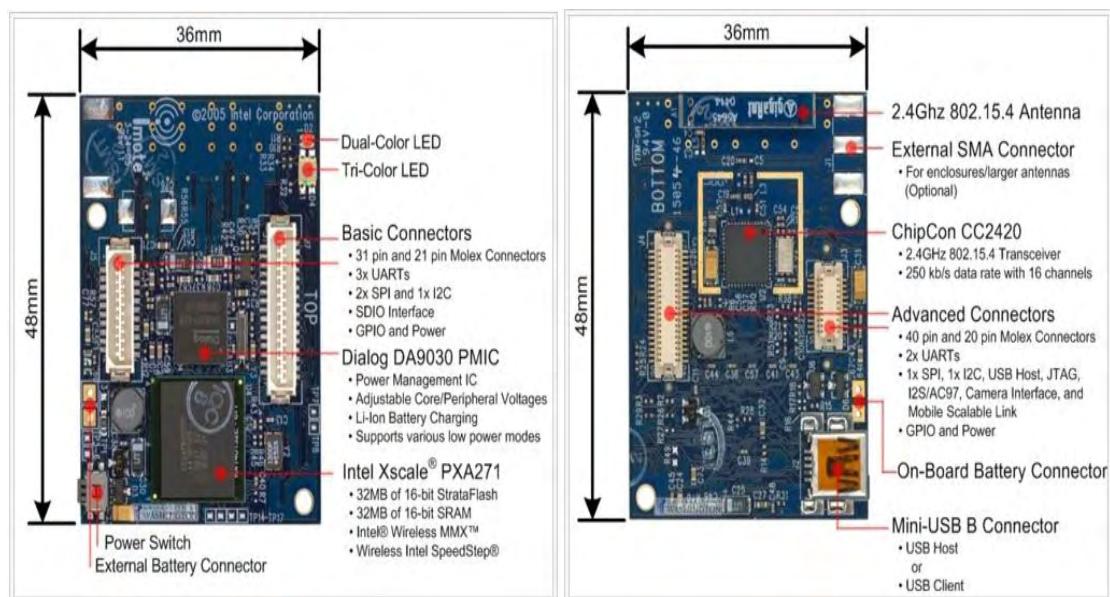
Η δομή των Imote2 βασίζεται στη σύνδεση διαφόρων επιμέρους μονάδων, σε επίπεδα, πάνω από μία βασική πλακέτα η οποία παρέχει την γενική λειτουργικότητα. Στις μονάδες αυτές περιλαμβάνονται κυρίως μονάδες αισθητήρων και τροφοδοσίας που επιλέγονται ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής για μετρήσεις και ενέργεια αντίστοιχα.

3.1.1 Βασική πλακέτα Imote2

Η βασική πλακέτα του Imote2 περιλαμβάνει τον ισχυρό μικροεπεξεργαστή PXA271 της Intel, ο οποίος λειτουργεί στις συχνότητες 13 – 416 MHz και διαθέτει 256KB SRAM, 32MB SDRAM και 32MB μνήμη FLASH. Ο συγκεκριμένος επεξεργαστής παρέχει την δυνατότητα λειτουργίας χαμηλής τάσης (0.85V) - χαμηλής συχνότητας (13MHz), με αποτέλεσμα την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Στην πλακέτα είναι επίσης ενσωματωμένος ο ασύρματος πομποδέκτης CC2420 IEEE 802.15.4 [9][10] της Texas Instruments, ο οποίος υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 Kb/s, με 16 κανάλια στην ζώνη των 2.4GHz. Επιπλέον, περιλαμβάνεται εσωτερική κεραία συχνότητας 2.4GHz και εμβέλειας 30 μέτρων καθώς επίσης και υποδοχή SMA για δυνατότητα σύνδεση εξωτερικής κεραίας.

Τέλος, η πλακέτα υποστηρίζει πλήθος I/O επιλογών με παροχή θυρών I²C, 2 SPI, 3 UARTs, GPIOs, SDIO, USB (client/host), PWM κ.α.

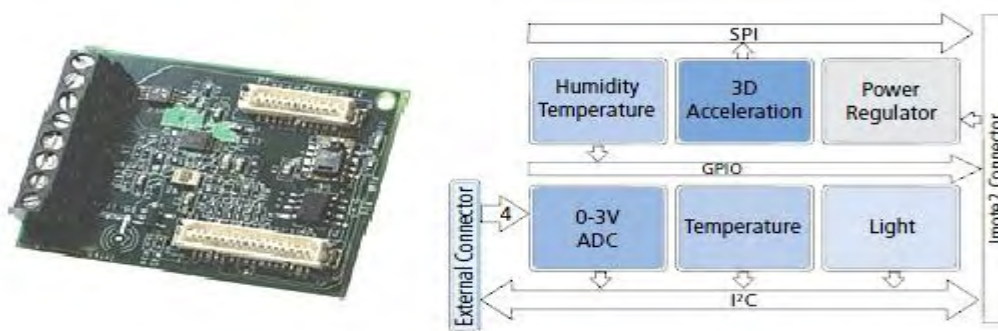


Εικόνα 3-2 : Περιγραφή της βασικής πλακέτας Imote2 [13]

3.1.2 Μονάδα αισθητήρων ITS400

Η βασική πλακέτα του Imote2 παρέχει απλώς στον κόμβο τον επεξεργαστή, τη μνήμη και τον ασύρματο πομποδέκτη. Προκειμένου ο κόμβος να αποκτήσει την δυνατότητα μέτρησης ενός χαρακτηριστικού του περιβάλλοντος, απαραίτητη είναι η σύνδεση στην βασική πλακέτα, κάποιας μονάδας που περιέχει τον αντίστοιχο αισθητήρα.

Ενδεικτικό παράδειγμα τέτοιας μονάδας αποτελεί η πλακέτα ITS400. Πρόκειται για τη βασική πλακέτα αισθητήρων των Imote2 που περιλαμβάνει αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτός, επιταχυνσιόμετρο και έναν τεσσάρων καναλιών, A/D μετατροπέα.



Εικόνα 3-3 : Η πλακέτα αισθητήρων ITS400 και το διάγραμμα περιγραφής της [12]

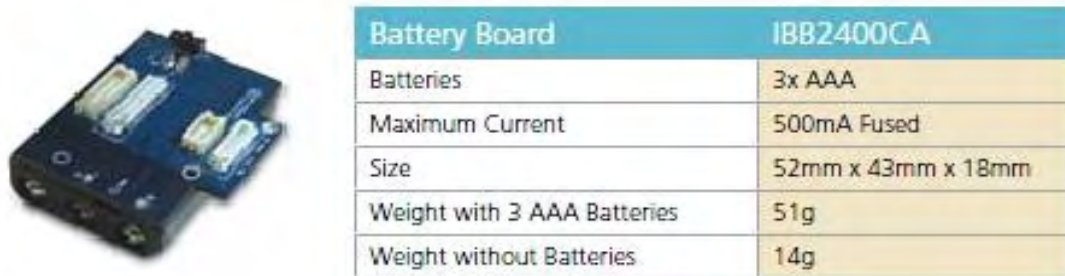
3.1.2.1 Αισθητήρας επιτάχυνσης

Το επιταχυνσιόμετρο που παρέχει η μονάδα ITS400 είναι το LIS3L02DQ της εταιρίας STMicroelectronics. Πρόκειται για έναν αισθητήρα επιτάχυνσης τριών διαστάσεων με ανάλυση 12bit (4096 πιθανές τιμές), εύρος επιτάχυνσης +/- 2g και δυνατούς ρυθμούς δειγματοληψίας 280Hz, 560Hz, 1120Hz και 4480Hz ο οποίος επικοινωνεί με την πλακέτα χρησιμοποιώντας τις διεπαφές SPI/I2C. [15]

3.1.3 Μονάδα τροφοδοσίας IBB2400

Για την αυτονομία του κόμβου όσον αφορά την ενέργεια, χρησιμοποιείται συνήθως η μονάδα μπαταριών IBB2400. Η εν λόγω μονάδα συνδέεται στην βασική πλακέτα,

μέσω των ειδικών υποδοχών της, και χρησιμοποιώντας τρεις AAA μπαταρίες παρέχει ενεργειακή ανεξαρτησία στον κόμβο. Περιέχει επιπλέον διακόπτη για χειροκίνητο άνοιγμα και κλείσιμο της παροχής ρεύματος προς τον κόμβο για λόγους ασφάλειας και λειτουργικότητας.



Εικόνα 3-4 : Η πλακέτα τροφοδοσίας IBB2400 και τα χαρακτηριστικά της [12]



Εικόνα 3-5 : Δομή ασύρματου κόμβου αισθητήρων Imote2 [14]

3.1.4 Μονάδα διεπαφής IIB2400

Η σύνδεση των Imote2 με τον υπολογιστή επιτυγχάνεται με χρήση της ειδικής μονάδας διεπαφής IIB2400, η οποία παρέχει μία JTAG και δύο USB θύρες για αυτό το σκοπό. Ένας κόμβος Imote2 συνδέεται στην εν λόγω μονάδα είτε για να προγραμματιστεί είτε για να αποτελέσει την πύλη επικοινωνίας (gateway node) των υπολοίπων ασύρματων κόμβων με το σύστημα.



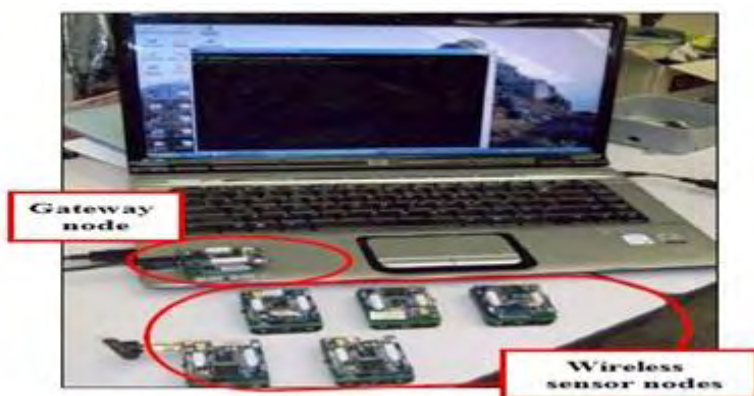
Interface Board	Imote2 IIB2400
Mote Connectors	2x Advanced (male/female)
USB Connector	mini-B Female
Serial Port A	Virtual UART With RTS/CTS Flow Control
Serial Port B	Virtual UART Without Hardware Flow Control
Serial Port Speed	110-921,600 Baud per Port
JTAG Port	Standard 20-pin Connector
Size	48mm x 36mm x 14mm
Weight	11g

Εικόνα 3-6 : Η πλακέτα διεπαφής IIB2400 και τα χαρακτηριστικά της [12]

Για τον προγραμματισμό των κόμβων, εκτός της μονάδας διεπαφής απαραίτητη είναι και η ύπαρξη ενός JTAG καλωδίου. Όσον αφορά την συνδεσμολογία, το ένα άκρο του JTAG καλωδίου πρέπει να συνδεθεί στην JTAG θύρα της μονάδας διεπαφής και το άλλο στην παράλληλη θύρα του υπολογιστή. Παρόμοια, το USB καλώδιο πρέπει να συνδεθεί στις αντίστοιχες USB θύρες της μονάδας διεπαφής και του υπολογιστή. Τέλος, ο κόμβος που πρόκειται να προγραμματιστεί πρέπει να συνδεθεί με την μονάδα διεπαφής της παραπάνω συνδεσμολογίας.

3.1.4.1 Διασύνδεση με τον υπολογιστή

Για την επικοινωνία των ασύρματων κόμβων αισθητήρων με τον υπολογιστή, πρέπει να επιλεγθεί ένας κόμβος που θα αποτελέσει την πύλη επικοινωνίας. Ο εν λόγω κόμβος (Gateway node), αφού συνδεθεί με την μονάδα διεπαφής, συνδέεται μέσω USB στον υπολογιστή. Ρόλος του είναι να επικοινωνεί ασύρματα με τους υπόλοιπους κόμβους και να προωθεί τα πακέτα που λαμβάνει από αυτούς στον υπολογιστή του συστήματος, μέσω της σειριακής θύρας. [12][13][14]



Εικόνα 3-7: (α) Συνδεσμολογία για τον προγραμματισμό ενός Imote2 (β) Διασύνδεση των ασύρματων κόμβων με τον υπολογιστή [14] [16]

3.2 Wasmote



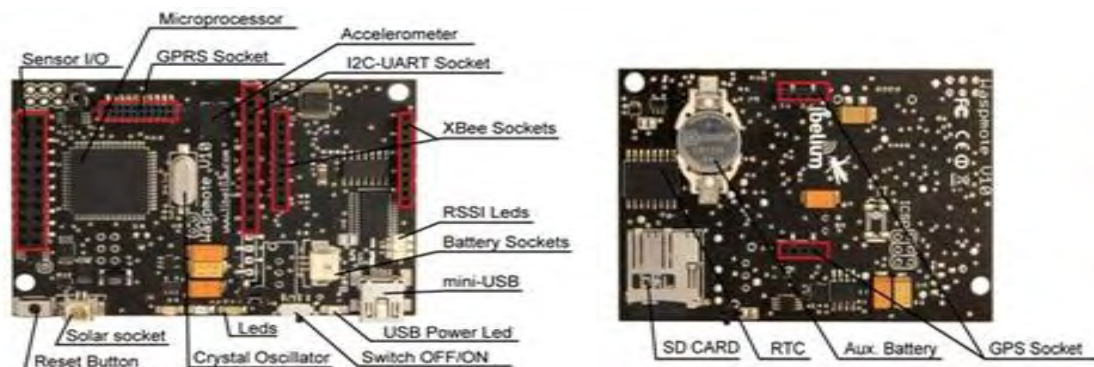
Το **Wasmote** είναι μια ασύρματη πλατφόρμα αισθητήρων που αναπτύχθηκε από την **libelium**, μια ισπανική εταιρία που ειδικεύεται στην κατασκευή ασύρματων μονάδων αισθητήρων. Πρόκειται για μια ηλεκτρονική πλακέτα βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση υλικό και λογισμικό, κατασκευασμένη για χρήση σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και γενικότερα σε εφαρμογές που απαιτούν την μέτρηση κάποιου χαρακτηριστικού του περιβάλλοντος.

Εικόνα 3-8 : Wasmote

3.2.1 Βασική πλακέτα Wasmote

Η βασική πλακέτα του Wasmote περιλαμβάνει τον μικροελεγκτή ATmega 1281 της Atmel που λειτουργεί στην συχνότητα των 8 Mhz και διαθέτει 8KB SRAM, 4KB EEPROM και 128KB μνήμη FLASH. Υποστηρίζει επιπλέον την δυνατότητα για επέκταση μνήμης, παρέχοντας υποδοχή για SD-Card χωρητικότητας έως και 2GB.

Περιλαμβάνει ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC) που τρέχει στα 32 KHz ενώ διαθέτει επίσης 7 αναλογικές και 8 ψηφιακές εισόδους/εξόδους, θύρα PWM, 2 σειριακές θύρες UART, μία θύρα σειριακής επικοινωνίας i2c, μία θύρα USB και υποδοχή μπαταρίας. Τέλος, στην βασική πλακέτα περιέχονται ενσωματωμένοι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας και επιτάχυνσης.



Εικόνα 3-9 : Περιγραφή της βασικής πλακέτας Wasmote [17]

3.2.1.1 Αισθητήρας επιτάχυνσης

Το επιταχυνσιόμετρο που είναι ενσωματωμένο στην πλακέτα είναι το LIS3LV02DL της STMicroelectronics. Πρόκειται για ένα επιταχυνσιόμετρο τριών διαστάσεων που χρησιμοποιεί την διεπαφή I2C για να επικοινωνεί με τον επεξεργαστή. Έχει ανάλυση 12-bit (4096 πιθανές τιμές) ενώ παρέχει δύο πιθανά εύρη τιμών +/- 2g και +/- 4g με ακρίβεια 1024Lsb/g και 340Lsb/g αντίστοιχα.

Η προεπιλογή όσον αφορά τον μέγιστο ρυθμό δειγματοληψίας του είναι τα 40Hz με δυνατότητα αύξησης του στα 160Hz, 640Hz ή ακόμα και στα 2560Hz. Πραγματοποιεί αυτόματο έλεγχο της ακεραιότητας των ληφθέντων μετρήσεων, αγνοώντας της μη έγκυρες τιμές, ενώ είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -40°C έως 80°C. [18]

3.2.2 Μονάδες ασύρματης επικοινωνίας

Το Wasmote προσφέρει ευελιξία όσον αφορά την ασύρματη επικοινωνία των κόμβων, παρέχοντας πληθώρα διαθέσιμων επιλογών όπως επικοινωνία με χρήση του πρωτοκόλλου 802.15.4/Zigbee, Bluetooth, Wifi και GSM/GPRS modem. Η βασική πλακέτα του Wasmote διαθέτει κατάλληλες υποδοχές για σύνδεση των ειδικών μονάδων που προσφέρουν τις παραπάνω μορφές ασύρματης επικοινωνίας.



Εικόνα 3-10 : Μονάδες ασύρματης επικοινωνίας για το Wasmote

3.2.2.1 Μονάδες Xbee

Η μονάδα που παρέχει στο Wasmote την δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας με χρήση του πρωτοκόλλου IEEE802.15.4/Zigbee (PRO), ονομάζεται Xbee. Υπάρχουν

διάφοροι τύποι Xbee εκ των οποίων τα πιο ευέλικτα στη χρήση είναι τα Xbee-Zigbee και Xbee-Zigbee PRO.



Xbee Zigbee



Xbee Zigbee PRO

Model	Protocol	Frequency	txPower	Sensitivity	Range *
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4GHz	1mW	-92dB	500m
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4GHz	100mW	-100dBm	7000m
XBee-ZB	ZigBee-Pro	2.4GHz	2mW	-96dBm	500m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4GHz	50mW	-102dBm	7000m

* Line of sight and 5dBi dipole antenna

Antennas: 2.4GHz: 2dBi / 5dBi
Connector: RPSMA
Encryption: AES 128b
Control Signal: RSSI
Standards: XBee-802.15.4 - 802.15.4 Compliant / XBee-ZB - ZigBee-Pro v2007 Compliant
Topologies: p2p, tree, mesh

Εικόνα 3-11 : Μονάδες Xbee-Zigbee και χαρακτηριστικά τους [17]

Οι μονάδες Xbee συνδέονται στην ειδική υποδοχή της βασικής πλακέτας και επικοινωνούν με τον επεξεργαστή μέσω της διεπαφής UART_0 με ταχύτητα 38400 bps. Υποστηρίζουν ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 250 kb/s, περιλαμβάνουν RPSMA υποδοχή κεραίας και χρησιμοποιούν την συχνότητα των 2.4GHz με 16 ή 13 κανάλια εύρους 5MHz για την ασύρματη επικοινωνία. Τέλος, υποστηρίζουν κρυπτογράφηση των –προς μετάδοση– δεδομένων με χρήση του αλγορίθμου AES 128b.

3.2.3 Διασύνδεση με τον υπολογιστή

Η διασύνδεση των ασύρματων κόμβων Waspnote με τον υπολογιστή, γίνεται με χρήση του Waspnote gateway. Το Waspnote gateway είναι μια ειδική μονάδα ή οποία, αφού της προσαρτηθεί ένα Xbee ίδιου τύπου με αυτό που χρησιμοποιούν οι ασύρματοι κόμβοι, συνδέεται μέσω USB στον υπολογιστή του συστήματος. Ρόλος της συγκεκριμένης μονάδας είναι η εγκατάσταση ασύρματης ζεύξης (σύμφωνα με το πρωτόκολλο IEEE802.15.4) με το δίκτυο των ασύρματων κόμβων και η προώθηση των πακέτων που λαμβάνει από αυτούς στον υπολογιστή μέσω της σειριακής θύρας.



Εικόνα 3-12 : Gateway και ασύρματος κόμβος αισθητήρων

3.3 iSense



Οι **iSense** της εταιρίας **Coalesenses** είναι ασύρματες συσκευές αισθητήρων, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, με δυνατότητες που τις καθιστούν ικανές να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες ακόμα και ιδιαίτερα απαιτητικών εφαρμογών, σχετικών με την μέτρηση κάποιου χαρακτηριστικού. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι ήδη χρησιμοποιούνται με επιτυχία, για την πλαισίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων πολλών βιομηχανικών και ερευνητικών εφαρμογών.

Εικόνα 3-13 : iSense

Βασικό χαρακτηριστικό των iSense αποτελεί το γεγονός ότι η δομή τους βασίζεται σε ένα πλήθος διαφορετικών μονάδων, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους σε επίπεδα. Συγκεκριμένα, το σύνολο του υλικού που απαρτίζει την τελική πλατφόρμα, είναι δομημένο γύρω από τη μονάδα πυρήνα (core module), πάνω στην οποία προστίθενται μονάδες παροχής ενέργειας (energy modules) και μονάδες αισθητήρων (sensor modules) γενικού ή ειδικού σκοπού.



Εικόνα 3-14 : Η δομή των Isense[19]

3.3.1 Βασική πλακέτα iSense

Η βασική λειτουργικότητα ενός κόμβου iSense παρέχεται από την μονάδα πυρήνα που αυτός περιλαμβάνει. Η πλακέτα Core Module 3 (CM30X) αποτελεί την πιο σύγχρονη, από τις μονάδες που έχει κατασκευάσει κατά καιρούς η Coalesenses προκειμένου να αποτελέσουν τον πυρήνα λειτουργίας των κόμβων της.

Η συγκεκριμένη πλακέτα περιλαμβάνει τον JN5148, έναν ασύρματο μικροελεγκτή υψηλών υπολογιστικών δυνατοτήτων και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Περιέχει έναν 32-bit μικροελεγκτή αρχιτεκτονικής RISC που λειτουργεί στα 4-32 MHz με 128KB RAM και 128KB ROM, 512KB μνήμη FLASH και ασύρματο πομποδέκτη 2.4GHz για επικοινωνία βάση του προτύπου IEEE802.15.4/Zigbee(PRO). Επιπλέον, παρέχει πληθώρα περιφερειακών διεπαφών όπως SPI, δύο UARTs, τεσσάρων εισόδων 12-bit ADC, δύο 12-bit DACs κ.α.

Η πλακέτα Core Module 3 περιλαμβάνει επίσης υψηλής ακρίβειας ρολόι, ρυθμιστή μεταγωγής ενέργειας και ειδικές υποδοχές για δυνατότητα προσθήκης των απαραίτητων κάθε φορά επιπλέον μονάδων.

Τέλος, ανάλογα με τις απαιτήσεις για κεραία, υπάρχουν διαθέσιμες τρεις παραλλαγές της εν λόγω πλακέτας. Η CM30I με ενσωματωμένη PCB κεραία, η CM30U με uFl υποδοχή εξωτερικής κεραίας και η CM30HP με ενισχυτή ενέργειας και uFl υποδοχή εξωτερικής κεραίας.



Εικόνα 3-15 : Εκδόσεις πλακέτας iSense Core Module 3

3.3.2 Μονάδες αισθητήρων

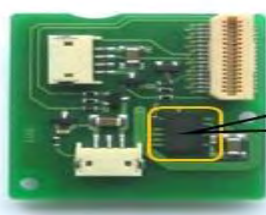
Η βασική πλακέτα Core module, παρέχει στον iSense κόμβο τον επεξεργαστή, τη μνήμη και τον ασύρματο πομποδέκτη. Προκειμένου ο κόμβος να αποκτήσει την δυνατότητα μέτρησης κάποιου συγκεκριμένου χαρακτηριστικού, απαραίτητη είναι η σύνδεση στην βασική πλακέτα, της αντίστοιχης μονάδας αισθητήρων.



Εικόνα 3-16 : Διαθέσιμες μονάδες αισθητήρων για τους iSense

3.3.2.1 Αισθητήρας επιτάχυνσης

Από τις διαθέσιμες μονάδες αισθητήρων των iSense, αυτή που περιλαμβάνει αισθητήρα επιτάχυνσης είναι η μονάδα Security Sensor Module.



Accelerometer	
Range	$\pm 2g$ or $\pm 6g$
Frequency	40Hz
Current draw operation	$\sim 650\mu A$
Current draw sleep mode	$\sim 1\mu A$

Εικόνα 3-17 : Αισθητήρας επιτάχυνσης του Security Sensor Module

Πρόκειται για ένα επιταχυνσιόμετρο τριών διαστάσεων που παρέχει πιθανά εύρη τιμών $\pm 2g$ και $\pm 6g$, με ακρίβεια 1024Lsb/g και 340Lsb/g αντίστοιχα και υποστηρίζει μέγιστο ρυθμό δειγματοληψίας 40Hz.

3.3.3 Μονάδες τροφοδοσίας

Για την ενεργειακή αυτονομία των κόμβων iSense, το Core Module περιλαμβάνει κατάλληλες υποδοχές για σύνδεση ειδικών μονάδων παροχής ενέργειας. Υπάρχουν διαθέσιμα διάφορα είδη τέτοιων μονάδων, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την μονάδα AA Battery module. Η συγκεκριμένη μονάδα, χρησιμοποιεί δύο AA μπαταρίες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κόμβου στον οποίο προσαρτάται, αποτελώντας μια ιδιαίτερα εύχρηστη και χαμηλού κόστους επιλογή.



Εικόνα 3-18 : Μονάδες παροχής ενέργειας iSense

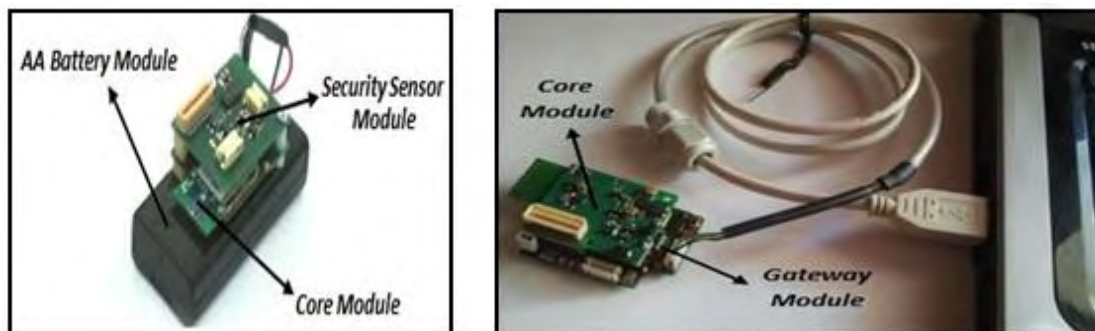
3.3.4 Διασύνδεση με τον υπολογιστή

Η διασύνδεση των iSense με τον υπολογιστή επιτυγχάνεται με χρήση της μονάδας iSense Gateway Module η οποία συνδέεται σε αυτόν μέσω USB ή/και RS-232. Στην συγκεκριμένη μονάδα προσαρτάται ένα Core Module είτε για να προγραμματιστεί είτε για να αποτελέσει την πύλη επικοινωνίας μεταξύ των ασύρματων κόμβων και του υπολογιστή. Στην δεύτερη περίπτωση, η παραπάνω συνδεσμολογία αποτελεί τον Gateway κόμβο του δικτύου ο οποίος παραλαμβάνει τα δεδομένα που στέλνουν ασύρματα οι υπόλοιποι κόμβοι και τα προωθεί, μέσω της σειριακής θύρας, στον υπολογιστή του συστήματος.



Εικόνα 3-19 : iSense Gateway Module

Η USB επαφή του Gateway Module μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ενέργειας σε άλλες μονάδες των iSense, συμπεριλαμβανομένου του Rechargeable Battery Module. Τέλος, το Gateway Module διαθέτει τρία LEDs, δύο κουμπιά και ένα ποτενσιόμετρο. [19]



Εικόνα 3-20 :α) Ασύρματος κόμβος iSense β) Gateway κόμβος iSense

4 *Περιγραφή συστήματος*

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται περιγραφή του συστήματος που υλοποιήθηκε στα πλαίσια του αντικειμένου της παρούσας εργασίας. Πρόκειται για ένα βιομετρικό σύστημα ικανό να αναγνωρίζει τους χρήστες του, από την υπογραφή που δίνουν μετακινώντας στον χώρο μία κινητή συσκευή εφοδιασμένη με αισθητήρες επιτάχυνσης.

Αρχικά παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος που αφορούν την δομή του αλλά και τον τρόπο με τον οποίο συνεργάζονται τα διάφορα δομικά συστατικά του, για την εκτέλεση των βασικών λειτουργιών του. Στην συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας όλων των επιμέρους τμημάτων του συστήματος, εστιάζοντας στην γενική μεθοδολογία αλλά και στις ειδικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να παρέχουν τελικά τα επιθυμητά αποτελέσματα.

4.1 *Γενικά χαρακτηριστικά*

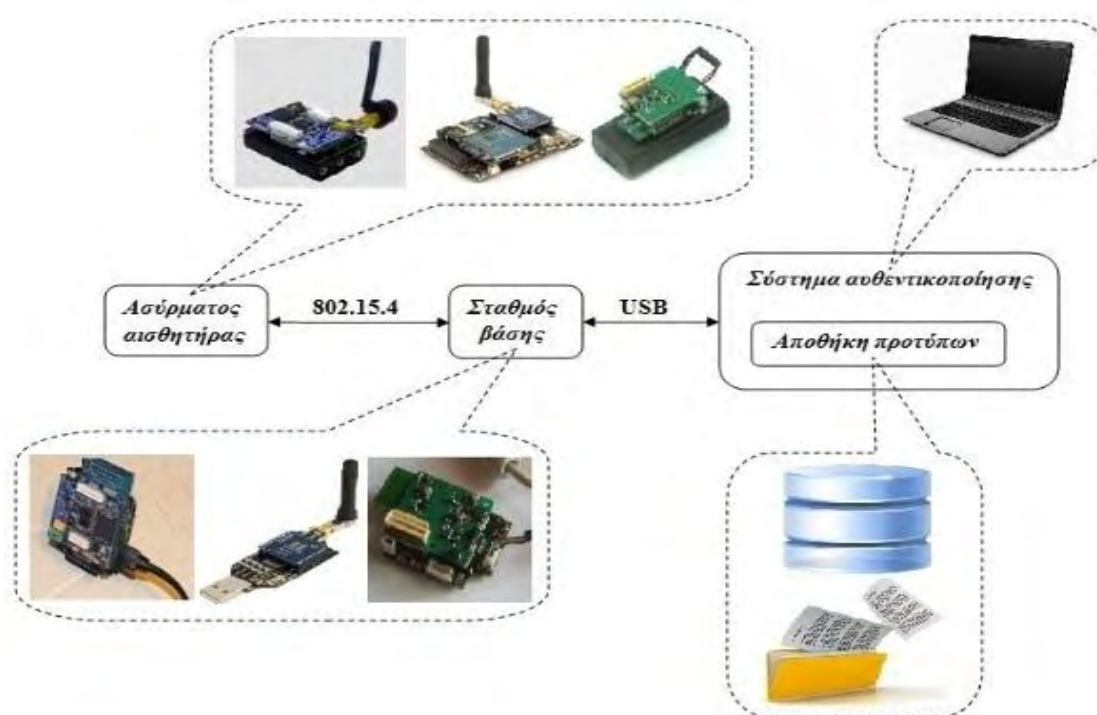
Προκειμένου να υπάρξει καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των επιμέρους μονάδων του συστήματος, απαραίτητο είναι να προηγηθεί η παρουσίαση κάποιων γενικών χαρακτηριστικών που αφορούν την μοντελοποίηση και τη λειτουργία του συστήματος στο σύνολο του. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η αρχιτεκτονική του συστήματος, η ροή των δεδομένων σε αυτό, η κατανομή των εργασιών στα διάφορα δομικά συστατικά του καθώς επίσης και οι βασικές λειτουργίες που υποστηρίζει.

4.1.1 *Αρχιτεκτονική συστήματος*

Το τελικό σύστημα απαρτίζεται από ένα σύνολο επιμέρους υποσυστημάτων τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους για την παροχή της απαιτούμενης λειτουργικότητας. Τα υποσυστήματα αυτά είναι ένας ασύρματος κόμβος αισθητήρων εξοπλισμένος με επιταχυνσιόμετρο για την καταγραφή των δεδομένων της κίνησης του χρήστη, ο αντίστοιχος σταθμός βάσης (gateway) για παραλαβή και προώθηση των δεδομένων αυτών, η μονάδα υπολογιστή όπου εκτελείται η εφαρμογή αυθεντικοποίησης και η

μονάδα αποθήκευσης όπου καταγράφονται τα στοιχεία των εγγεγραμμένων στο σύστημα χρηστών.

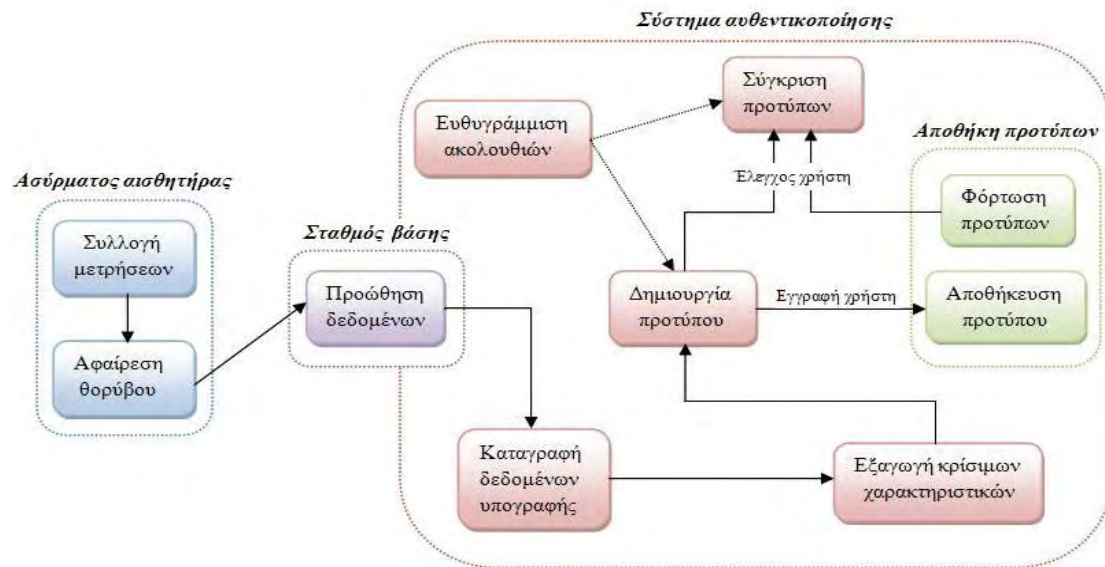
Ο ασύρματος κόμβος αισθητήρων επικοινωνεί βάση του πρωτοκόλλου 802.15.4 με τον κόμβο που αποτελεί το σταθμό βάσης του συστήματος και είναι συνδεδεμένος μέσω USB θύρας στην μονάδα υπολογιστή. Για την πλαισίωση του ζευγαριού ασύρματος κόμβος - σταθμός βάσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε εκ των διαθέσιμων συσκευών αισθητήρων που περιγράφηκαν εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τέλος, όσον αφορά την μονάδα αποθήκευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα αρχείων του υπολογιστή ή μία βάση δεδομένων.



Εικόνα 4-1 : Αρχιτεκτονική του συστήματος

4.1.2 Ροή δεδομένων και εργασιών

Μετά την παρουσίαση της δομής του συστήματος και την επισήμανση των επιμέρους υποσυστημάτων από τα οποία αποτελείται, μπορούμε να συνεχίσουμε την ανάλυση των γενικών χαρακτηριστικών του, περιγράφοντας τα στάδια επεξεργασίας από τα οποία περνάνε τα δεδομένα που εισέρχονται σε αυτό αλλά και τον τρόπο κατανομής των εργασιών στα διάφορα υποσυστήματα.



Εικόνα 4-2 : Ροή δεδομένων και κατανομή εργασιών συστήματος

Η ροή των δεδομένων στο σύστημα ξεκινά από τον ασύρματο κόμβο αισθητήρων ο οποίος χρησιμοποιείται για την συλλογή των μετρήσεων επιτάχυνσης που σχετίζονται με την υπογραφή του χρήστη. Καθώς ο κόμβος μετακινείται στο χώρο, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μετρά την επιτάχυνση του και αφού αφαιρέσει τον θόρυβο που περιλαμβάνουν οι ληφθείσες μετρήσεις, τις αποστέλλει ασύρματα στον σταθμό βάσης του συστήματος.

Ο συμβατός με τον ασύρματο κόμβο αισθητήρων, σταθμός βάσης, παραλαμβάνει τα δεδομένα και στην συνέχεια τα προωθεί, μέσω της σειριακής θύρας, στον υπολογιστή του συστήματος όπου γίνεται συγκεντρωτική καταγραφή όλων των μετρήσεων που αφορούν την υπογραφή που βρίσκεται σε εξέλιξη. Μετά το πέρας της υπογραφής, τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί, επεξεργάζονται από το σύστημα προκειμένου να εξαχθούν κάποια επιπλέον κρίσιμα χαρακτηριστικά που αφορούν συνολικά την κίνηση, αλλά και επιμέρους τμήματα αυτής.

Στην πορεία, η ροή των δεδομένων και η κατανομή των εργασιών στο σύστημα εξαρτώνται από το είδος της λειτουργίας που εκείνη τη στιγμή επιτελείται. Καθώς οι δυνατές λειτουργίες του συστήματος περιγράφονται εκτενώς στην παράγραφο που ακολουθεί, θα αρκεστούμε προς το παρόν σε απλή αναφορά τους και περιγραφή των ενεργειών που λαμβάνουν χώρα σε κάθε περίπτωση.

Η πρώτη διαθέσιμη λειτουργία είναι η εγγραφή ενός νέου χρήστη στο σύστημα. Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα που έχουν παραχθεί από ένα σύνολο δοκιμαστικών υπογραφών που έχει δώσει ο χρήστης, οδηγούνται στην γεννήτρια προτύπου του συστήματος. Η γεννήτρια προτύπου αναλαμβάνει τον συνδυασμό των δεδομένων των επιμέρους υπογραφών και την δημιουργία ενός γενικού προτύπου που θα περιέχει τα βασικά χαρακτηριστικά της υπογραφής αλλά και τα όρια ανοχής που θα πρέπει να

επιδείξει το σύστημα όταν κάποια στιγμή αργότερα κληθεί να την αυθεντικοποιήσει. Στην συνέχεια, το πρότυπο που προέκυψε αποθηκεύεται στην μονάδα αποθήκευσης του συστήματος, όπου βρίσκονται και τα αντίστοιχα πρότυπα των υπολοίπων εγγεγραμμένων χρηστών.

Η δεύτερη λειτουργία του συστήματος αφορά την αναγνώριση της υπογραφής ενός εγγεγραμμένου χρήστη. Σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης δίνει την υπογραφή του και τα δεδομένα που εξάγονται από αυτήν, προωθούνται στον συγκριτή προτύπων του συστήματος αυθεντικοποίησης. Παράλληλα, φορτώνονται στον συγκριτή όλα τα πρότυπα υπογραφής που βρίσκονται αποθηκευμένα στην μονάδα αποθήκευσης του συστήματος και αφορούν τους εγγεγραμμένους σε αυτό χρήστες. Το πρότυπο του χρήστη συγκρίνεται στην συνέχεια με κάθε ένα από τα αποθηκευμένα πρότυπα και σε περίπτωση ταιριάσματος με κάποιο από αυτά, επιτυγχάνεται η αναγνώριση.

Τέλος, το σύστημα αυθεντικοποίησης παρέχει μια επιπλέον διαδικασία που σχετίζεται με την ευθυγράμμιση ακολουθιών μετρήσεων διαφορετικού μήκους. Η συγκεκριμένη διαδικασία χρησιμοποιείται τόσο από την γεννήτρια προτύπου, όσο και από τον συγκριτή προτύπων, προσφέροντας λειτουργίες κρίσιμης σημασίας για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του συστήματος.

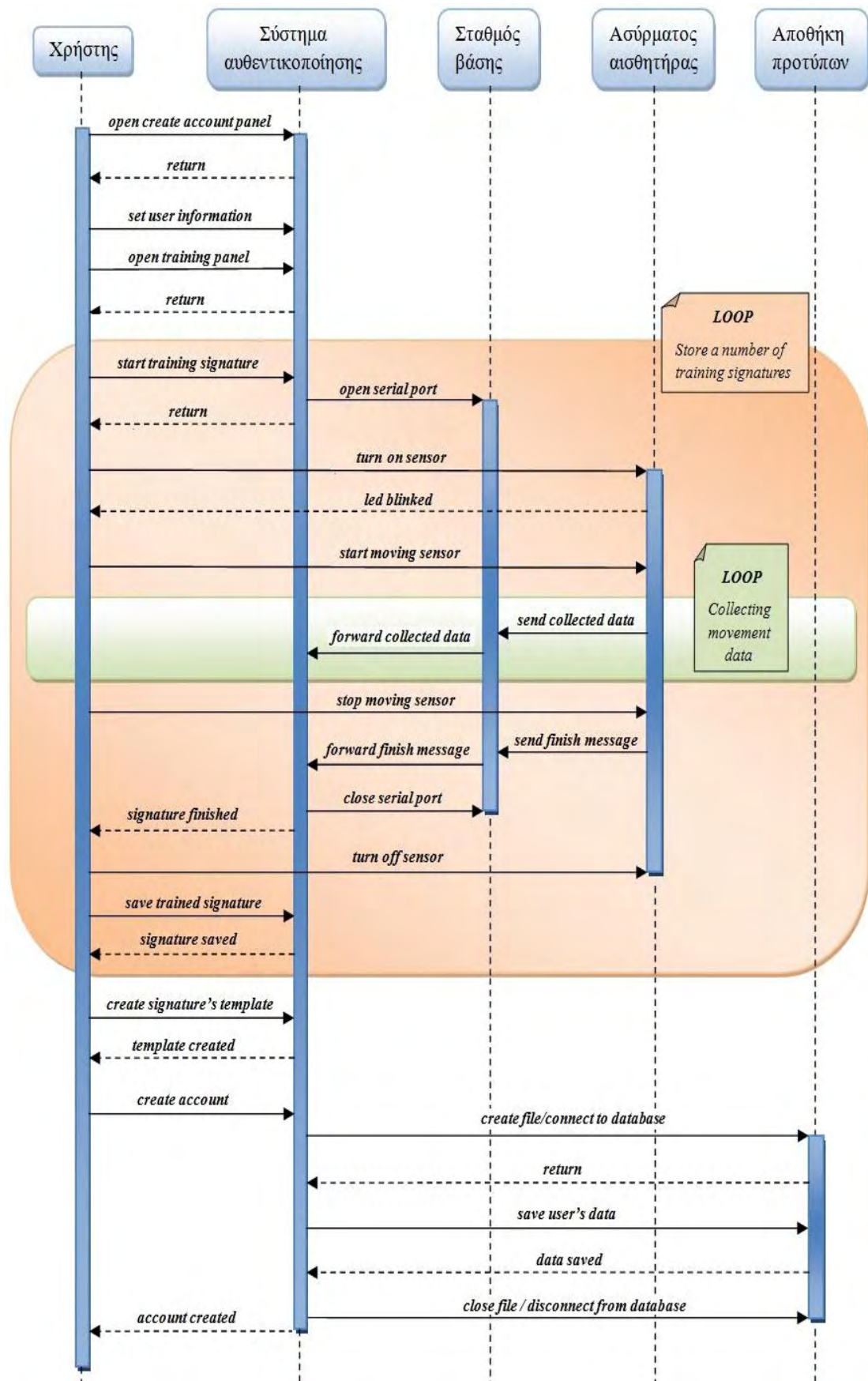
4.1.3 Περιγραφή βασικών λειτουργιών

Η παρουσίαση των γενικών χαρακτηριστικών του συστήματος ολοκληρώνεται με την περιγραφή των φάσεων λειτουργίας του, από όπου προκύπτουν και οι αντίστοιχες δυνατότητες που παρέχει στους χρήστες του.



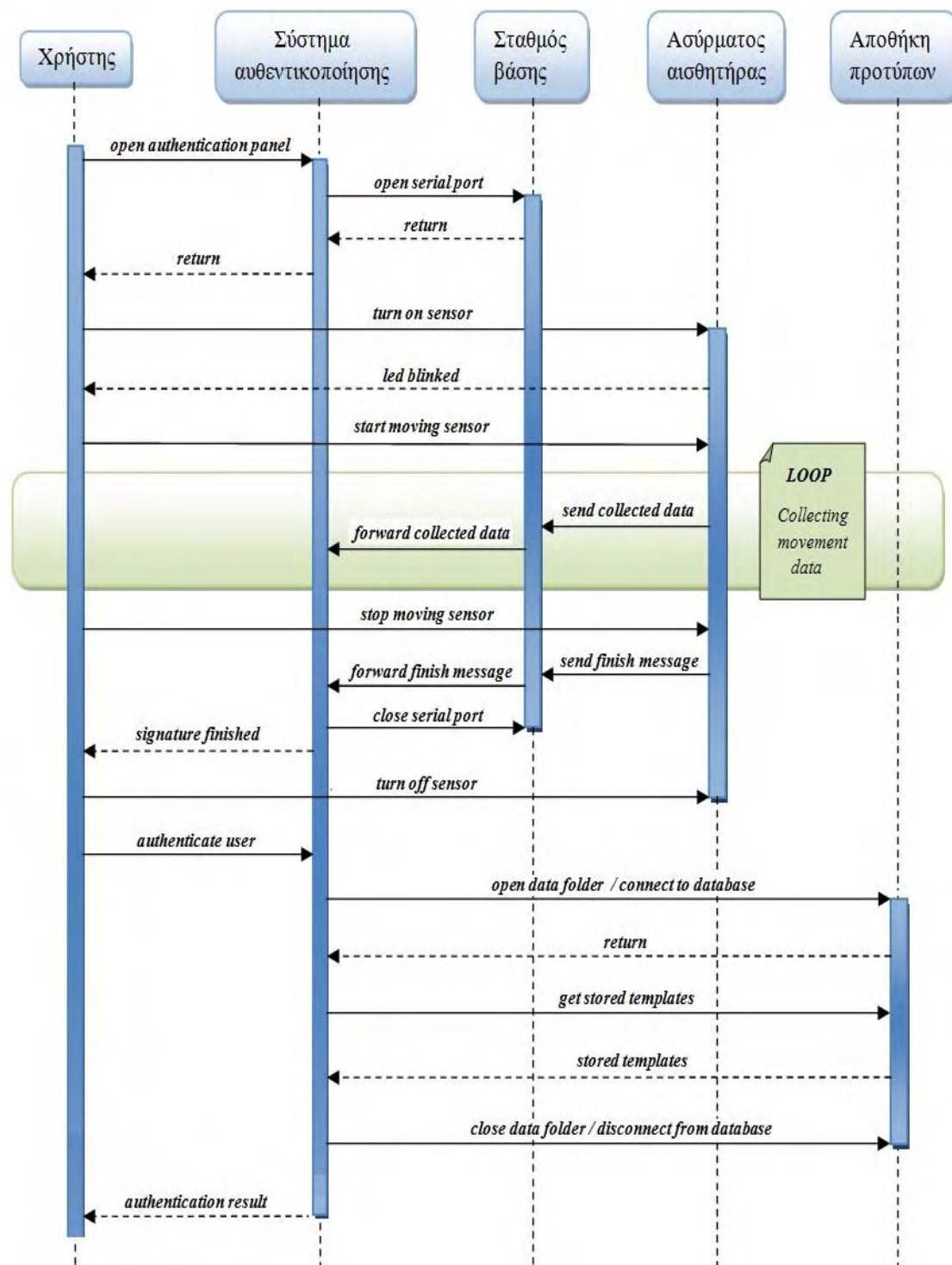
Εικόνα 4-3 : Φάσεις λειτουργίας συστήματος [20]

Η πρώτη φάση σχετίζεται με την δημιουργία του προτύπου υπογραφής ενός νέου χρήστη. Κατά την φάση αυτή, ο χρήστης καλείται να δώσει στο σύστημα ένα σύνολο δοκιμαστικών υπογραφών, τα δεδομένα των οποίων θα συνδυαστούν, προκειμένου να κατασκευαστεί τελικά ένα πρότυπο, ενδεικτικό της υπογραφής του.



Εικόνα 4-4 : Διάγραμμα ακολουθίας για την διαδικασία εγγραφής ενός νέου χρήστη

Η δεύτερη φάση αφορά την αναγνώριση ενός χρήστη από το σύστημα. Κατά την φάση αυτή ζητείται από τον χρήστη να δώσει την υπογραφή του, ώστε το σύστημα να συγκρίνει τα δεδομένα της με τα αντίστοιχα δεδομένα των αποθηκευμένων σε αυτό προτύπων, οδηγώντας σε αναγνώριση ή απόρριψη του.



Εικόνα 4-5 : Διάγραμμα ακολουθίας για την διαδικασία αναγνώρισης ενός χρήστη

4.2 Ασύρματος αισθητήρας

Όπως έχει γίνει αντιληπτό από την περιγραφή των γενικών χαρακτηριστικών του συστήματος που προηγήθηκε, τα δεδομένα εισόδου, παρέχονται από τον ασύρματο αισθητήρα τον οποίο κρατάει ο χρήστης, τη στιγμή που δίνει την υπογραφή του. Ως αισθητήρας εισόδου του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ασύρματος κόμβος, κάποιας εκ των συσκευών αισθητήρων που περιγράφηκαν στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Ρόλος του ασύρματου αισθητήρα είναι η συλλογή των μετρήσεων επιτάχυνσης της κίνησης, η αφαίρεση του θορύβου από αυτές και η ασύρματη αποστολή τους, στον συνδεδεμένο - στο σύστημα αυθεντικοποίησης - σταθμό βάσης. Στις παραγράφους που ακολουθούν, περιγράφεται αναλυτικότερα ο τρόπος με τον οποίο επιτελούνται οι παραπάνω λειτουργίες από τον ασύρματο αισθητήρα, προκειμένου να παρέχει στο σύστημα, καλής ποιότητας δεδομένα, σε πραγματικό χρόνο.

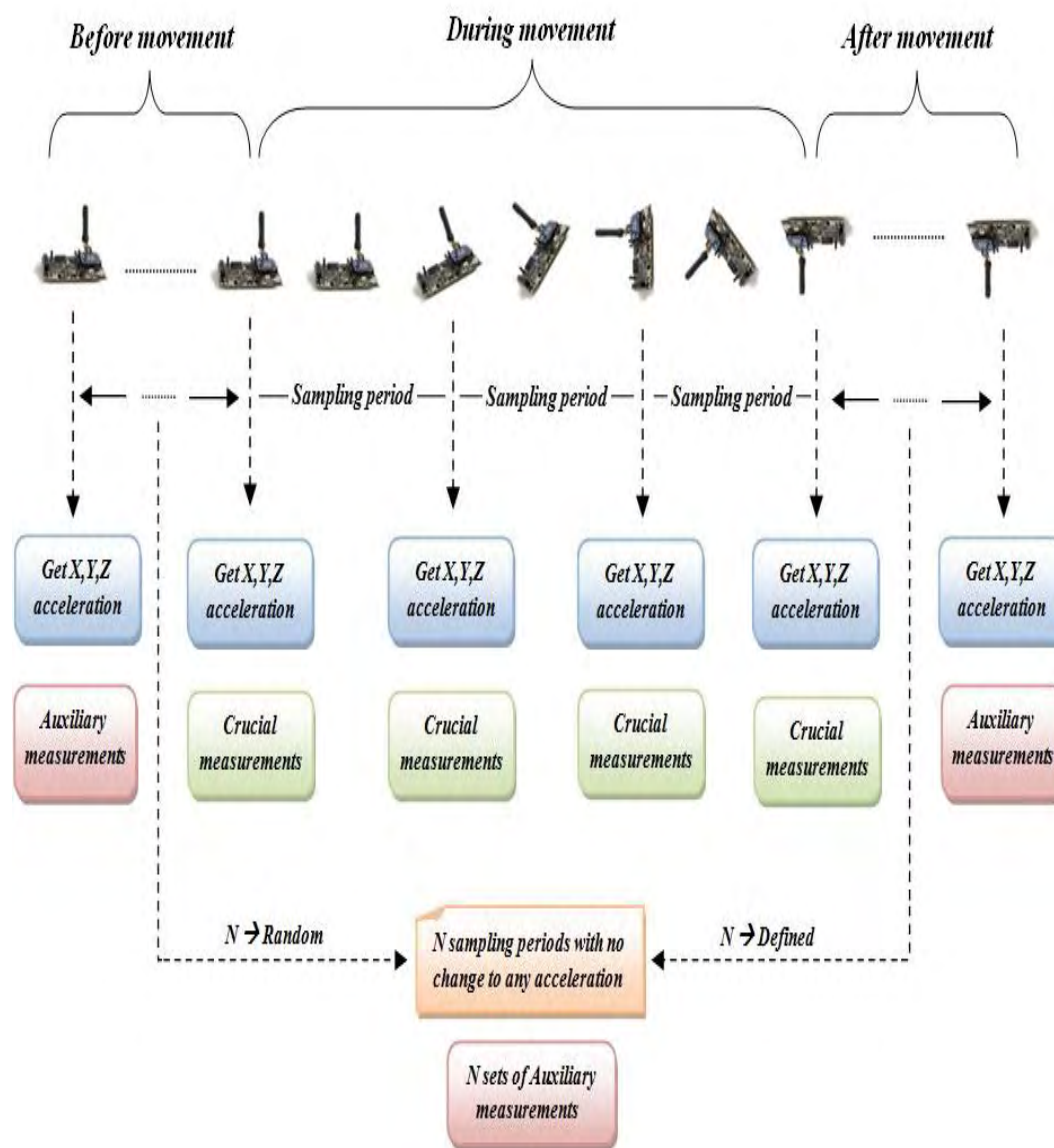
4.2.1 Συλλογή μετρήσεων

Οι μετρήσεις που εκτελούνται από τον ασύρματο αισθητήρα του συστήματος, για την περιγραφή της δοθείσας υπογραφής, αφορούν τις τιμές της επιτάχυνσης που αποκτά η συσκευή, καθώς ο χρήστης την μετακινεί στον χώρο. Συγκεκριμένα, ο αισθητήρας καθ' όλη την διάρκεια της υπογραφής του χρήστη και με κάποιον προκαθορισμένο ρυθμό δειγματοληψίας, καταγράφει την στιγμιαία επιτάχυνση του, κατά μήκος των τριών αξόνων που αντιστοιχούν στις διαστάσεις του χώρου.

Ο αισθητήρας ξεκινά την δειγματοληψία του επιταχυνσιόμετρου του, αμέσως μόλις ενεργοποιηθεί, ωστόσο κρίσιμες μετρήσεις για την περιγραφή της υπογραφής είναι μόνο αυτές που καταγράφονται κατά την διάρκεια της κίνησης του αισθητήρα. Οι μετρήσεις ξεκινάνε να λογίζονται ως κρίσιμες από την στιγμή που παρατηρείται η πρώτη μεταβολή της επιτάχυνσης του αισθητήρα, σε έναν τουλάχιστον άξονα. Στις κρίσιμες μετρήσεις συμπεριλαμβάνεται και η αμέσως προηγούμενη μέτρηση, με τις προγενέστερες της να ανήκουν στο σύνολο των βοηθητικών μετρήσεων.

Ο αισθητήρας σταματά την λήψη μετρήσεων και απενεργοποιεί το επιταχυνσιόμετρο του, μετά από την πάροδο ενός προκαθορισμένου αριθμού περιόδων δειγματοληψίας κατά τις οποίες δεν υπήρξε περαιτέρω αλλαγή στις τιμές της επιτάχυνσης του. Οι

μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την περίοδο αυτή, ανήκουν επίσης στο σύνολο των βοηθητικών μετρήσεων.



Εικόνα 4-6 : Διαδικασία συλλογής μετρήσεων από τον ασύρματο αισθητήρα.

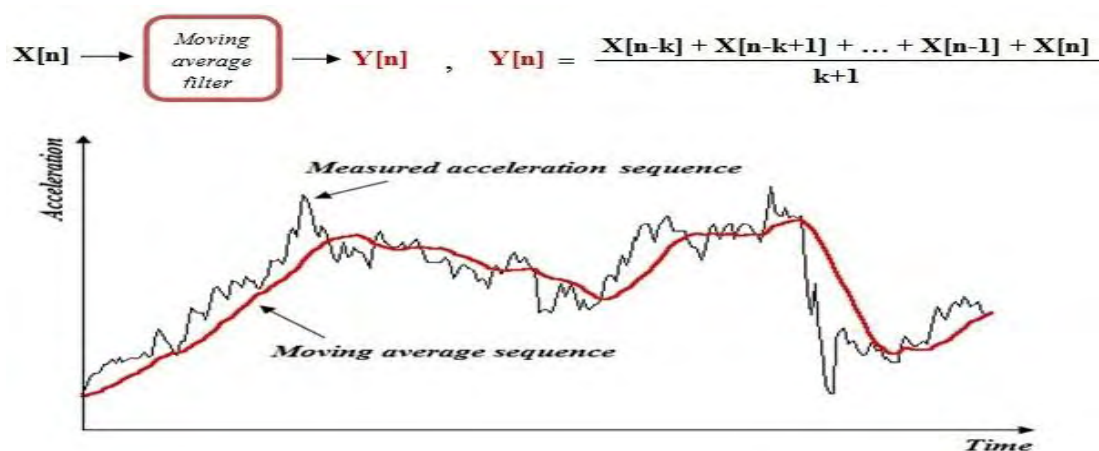
Η κατηγοριοποίηση των μετρήσεων σε κρίσιμες και βοηθητικές γίνεται προκειμένου να στέλνονται στο σύστημα αυθεντικοποίησης μόνο οι κρίσιμες μετρήσεις, οι οποίες καταγράφονται κατά την διάρκεια της κίνησης και συνεπώς είναι αντιπροσωπευτικές της υπογραφής. Οι βοηθητικές μετρήσεις, χρησιμοποιούνται από τον αισθητήρα για την πραγματοποίηση ελέγχων που αποσκοπούν στην σηματοδότηση της αρχής και του τέλους της υπογραφής.

4.2.2 Αφαίρεση θορύβου

Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από τον ασύρματο αισθητήρα, στο σύνολο των περιπτώσεων τους, συμπεριλαμβάνουν κάποιον θόρυβο που οφείλεται στην υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας του επιταχυνσιομέτρου και σε πιθανές ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος εκτέλεσης. Ο θόρυβος αυτός εμφανίζεται τόσο στις κρίσιμες όσο και στις βοηθητικές μετρήσεις αλλοιώνοντας την ποιότητα των δεδομένων που αφορούν την κίνηση και την ακρίβεια των ελέγχων που πραγματοποιούνται από τον αισθητήρα αντίστοιχα.

Καθώς ο θόρυβος αποτελεί τροχοπέδη στην ομαλή λειτουργία του συστήματος, απαραίτητη είναι η χρήση κάποιου φίλτρου για την απομάκρυνση του. Η επιλογή του φίλτρου που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να γίνει με γνώμονα τις ιδιαιτερότητες και τις απαιτήσεις του συστήματος. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις πρέπει να φιλτράρονται από τον αισθητήρα την στιγμή που καταγράφονται, ώστε τα δεδομένα, απαλλαγμένα από τον θόρυβο, να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση των απαραίτητων ελέγχων και, αν κριθούν ως κρίσιμα, να σταλούν στο σύστημα αυθεντικοποίησης. Η εκτέλεση των λειτουργιών αυτών πρέπει να γίνεται σε πραγματικό χρόνο και χωρίς μεγάλο υπολογιστικό και αποθηκευτικό κόστος.

Στα πλαίσια των παραπάνω απαιτήσεων, ο αισθητήρας του συστήματος επιτυγχάνει το φιλτράρισμα των μετρήσεων του, χρησιμοποιώντας ένα απλό - σε λειτουργία και υλοποίηση - φίλτρο μέσου όρου κίνησης (moving average filter). Πρόκειται για ένα φίλτρο που παίρνει σαν είσοδο την παρούσα μέτρηση και παράγει ως έξοδο τον μέσο όρο των τιμών αυτής και ενός προκαθορισμένου αριθμού προγενέστερων της. [21][22]



Εικόνα 4-7 : Εφαρμογή φίλτρου μέσου όρου κίνησης

4.2.3 Αποστολή δεδομένων

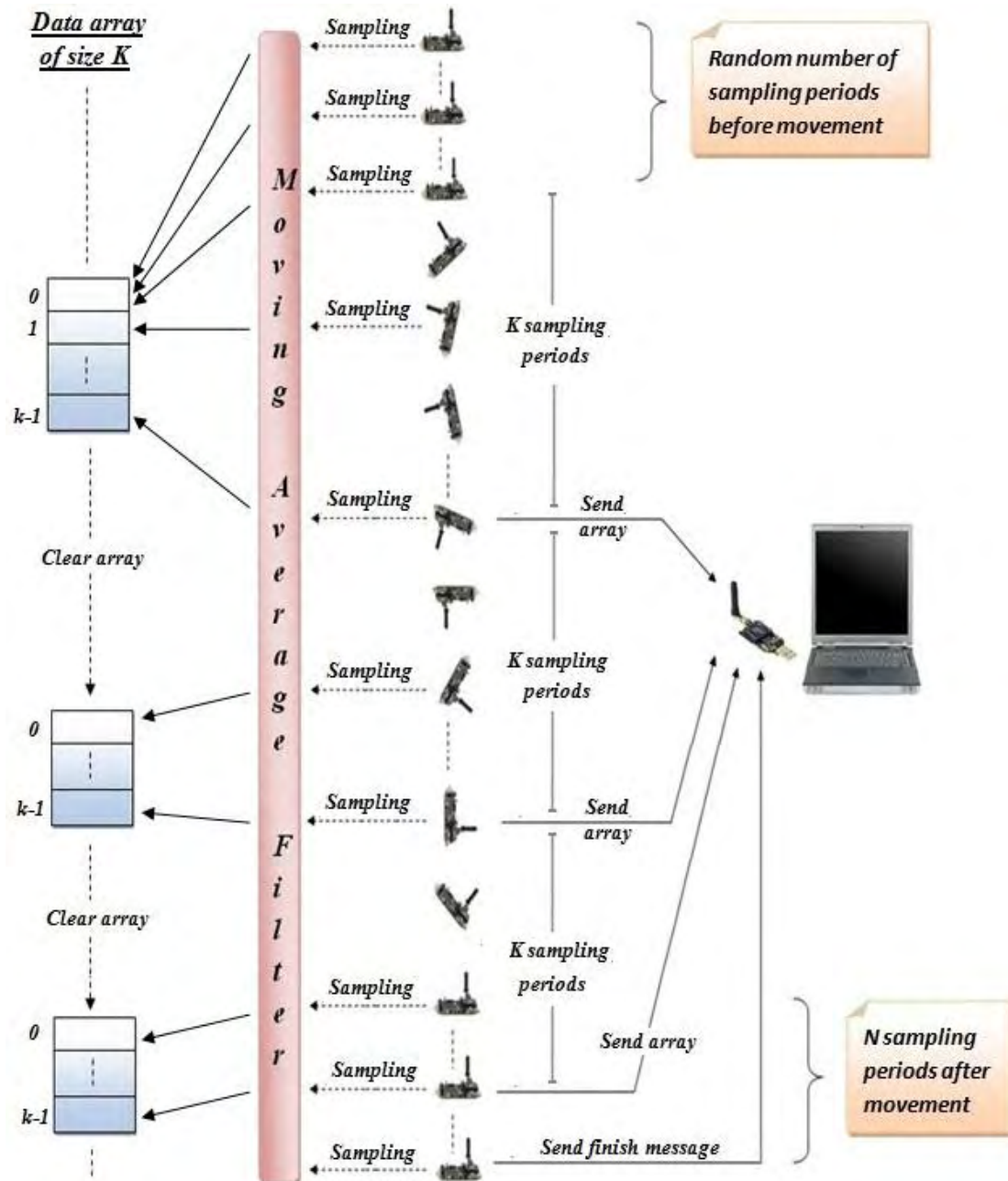
Μετά την περιγραφή των διαδικασιών καταγραφής των μετρήσεων και αφαίρεσης του θορύβου που υπεισέρχεται σε αυτές, μένει να παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο ο ασύρματος κόμβος στέλνει τα κρίσιμα δεδομένα στον σταθμό βάσης του συστήματος. Η αποστολή των δεδομένων πρέπει να γίνεται σε πραγματικό χρόνο, αποδοτικά και με όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση πόρων της συσκευής.

Τα πακέτα που αποστέλλονται από τον ασύρματο κόμβο, έχουν ένα άνω όριο όσον αφορά τον αριθμό των bytes που προσφέρουν για την αποθήκευση των ωφέλιμων δεδομένων του μηνύματος (payload). Αν και το όριο αυτό ποικίλλει ανάλογα με το είδος της συσκευής αισθητήρων που χρησιμοποιείται από το σύστημα, συνήθως είναι αρκετά μεγάλο ώστε να είναι σε θέση ο αισθητήρας να αποθηκεύσει, σε ένα πακέτο, τα δεδομένα ενός συνόλου μετρήσεων.

Όποια συσκευή αισθητήρων και αν χρησιμοποιηθεί, η συνεχής χρήση του ασύρματου πομποδέκτη της για αποστολή δεδομένων, κοστίζει στον κόμβο σε χρόνο και πόρους. Για την ελαχιστοποίηση του κόστους αυτού και στα πλαίσια πάντα των απαιτήσεων του συστήματος, ο ασύρματος κόμβος, πριν στείλει ένα πακέτο, προσθέτει στο πεδίο ωφέλιμου φορτίου του, όσες μετρήσεις απαιτούνται για την πλήρη εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου.

Για να επιτευχθεί η παραπάνω λειτουργικότητα, ο ασύρματος κόμβος περιέχει έναν πίνακα τόσων θέσεων, όσο το πλήθος των μετρήσεων που μπορεί να περιλαμβάνει στο ωφέλιμο φορτίο των πακέτων του. Κάθε κρίσιμη μέτρηση μετά την αφαίρεση του θορύβου της προστίθεται στον εν λόγω πίνακα. Όταν ο πίνακας γεμίσει, ο ασύρματος κόμβος δημιουργεί ένα νέο πακέτο και αντιγράφει, στο πεδίο ωφέλιμου φορτίου του, τα περιεχόμενα του πίνακα. Το πακέτο στέλνεται στον σταθμό βάσης του συστήματος ενώ οι καταγεγραμμένες στον πίνακα μετρήσεις διαγράφονται ώστε να είναι εκ νέου διαθέσιμος για αποθήκευση των επόμενων μετρήσεων.

Η διαδικασία αποστολής πακέτων που μόλις περιγράφηκε, επαναλαμβάνεται έως ότου ο ασύρματος κόμβος, μετά από μια περίοδο παρατεταμένης ακινησίας του, θεωρήσει ότι η κίνηση της υπογραφής ολοκληρώθηκε. Όταν συμβεί αυτό, ο κόμβος στέλνει στο σταθμό βάσης ένα ειδικό μήνυμα τερματισμού, στο οποίο περιέχεται η χρονική διάρκεια της κίνησης και ο αριθμός των μετρήσεων που καταγράφηκαν την περίοδο της ακινησίας και συνεπώς δεν αποτελούν κρίσιμες, για την περιγραφή της κίνησης, μετρήσεις.



Εικόνα 4-8 : Διαδικασία αποστολής δεδομένων στο σταθμό βάσης

4.3 Σύστημα αυθεντικοποίησης

Το δεύτερο βασικό τμήμα του συστήματος που υλοποιήθηκε, είναι το σύστημα αυθεντικοποίησης. Ρόλος του συστήματος αυθεντικοποίησης είναι η διαχείριση και η αξιοποίηση των δεδομένων που στέλνονται από τον ασύρματο αισθητήρα ώστε να

εκτελεστεί, ανάλογα με την απαίτηση του χρήστη, η λειτουργία της εγγραφής του στο σύστημα ή ο έλεγχος της ταυτότητας του από αυτό.

Για την επίτευξη των λειτουργιών αυτών, στο σύστημα αυθεντικοποίησης, εκτελείται μια εφαρμογή η οποία υλοποιεί την καταγραφή των δεδομένων, την εξαγωγή των κρίσιμων χαρακτηριστικών της υπογραφής από αυτά, την ευθυγράμμιση ακολουθιών δεδομένων διαφορετικού μήκους, την δημιουργία προτύπου υπογραφής και την σύγκριση προτύπων. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται κάθε μία από τις προαναφερθείσες ενέργειες και ο τρόπος με τον οποίο αυτή υλοποιείται, από την εφαρμογή του συστήματος αυθεντικοποίησης.

4.3.1 Καταγραφή δεδομένων

Τα πακέτα δεδομένων του ασύρματου κόμβου αποστέλλονται αρχικά στον σταθμό βάσης του, από όπου προωθούνται στη συνέχεια στο σύστημα αυθεντικοποίησης. Για λόγους απόδοσης, η μεταφορά των δεδομένων προς το σύστημα αυθεντικοποίησης πρέπει να γίνεται σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια εκτέλεσης της υπογραφής από τον χρήστη. Καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα είναι υψηλός, ο ρυθμός με τον οποίο ο ασύρματος κόμβος στέλνει πακέτα είναι επίσης υψηλός και συνεπώς η εφαρμογή του συστήματος αυθεντικοποίησης πρέπει σε μικρό χρονικό διάστημα να καταγράφει κάθε νέο πακέτο που φθάνει, ώστε να είναι εκ νέου διαθέσιμη για την παραλαβή του επόμενου. *[Παράρτημα Α]*

Στα πλαίσια των παραπάνω απαιτήσεων, κάθε φορά που ένα νέο πακέτο φθάνει στην σειριακή θύρα του συστήματος αυθεντικοποίησης, ειδοποιείται η εφαρμογή η οποία, διαβάζοντας την ειδική ένδειξη στο ωφέλιμο φορτίο του, ελέγχει αν πρόκειται για πακέτο δεδομένων ή για μήνυμα τερματισμού. Στην πρώτη περίπτωση, η εφαρμογή απλά προσθέτει το ωφέλιμο φορτίο του πακέτου, χωρίς να το επεξεργαστεί, σε μια δομή που έχει δημιουργήσει για την καταγραφή των δεδομένων της υπογραφής που είναι σε εξέλιξη. Έπειτα περιμένει να ειδοποιηθεί εκ νέου για την άφιξη του επόμενου πακέτου δεδομένων το οποίο και θα διαχειριστεί με τον ίδιο τρόπο.

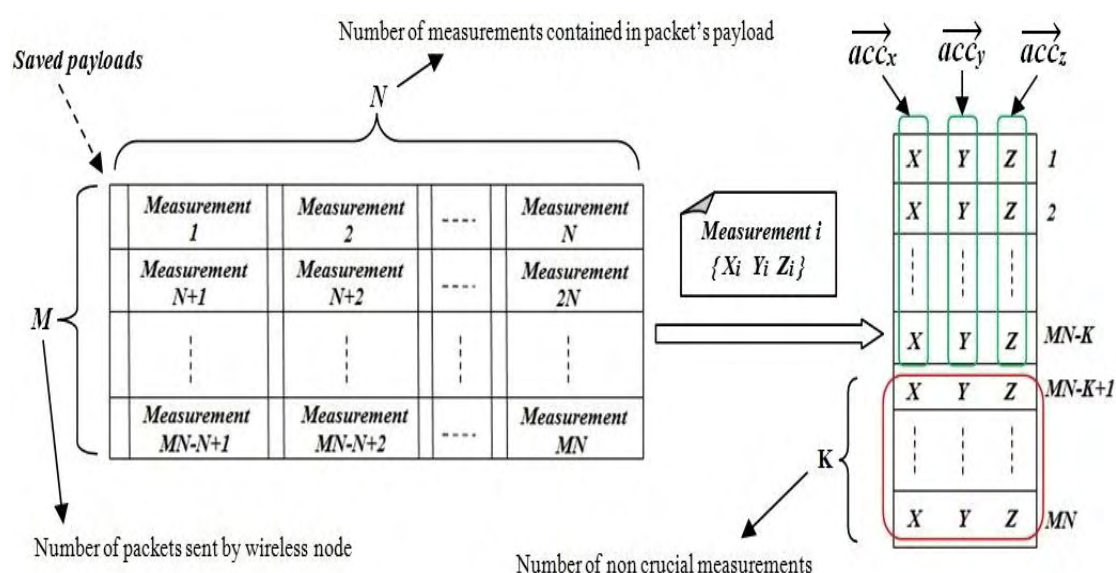
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου ληφθεί από την εφαρμογή, το πακέτο που περιλαμβάνει το μήνυμα τερματισμού. Όταν συμβεί αυτό, η εφαρμογή καταγράφει τις πληροφορίες που περιλαμβάνονται στο ωφέλιμο φορτίο του εν λόγω πακέτου και αφορούν την χρονική διάρκεια της κίνησης και τον αριθμό των μετρήσεων που αποθηκεύτηκαν χωρίς να είναι τελικά κρίσιμες. Έπειτα σταματάει την επικοινωνία με την σειριακή θύρα και στέλνει τα καταγεγραμμένα δεδομένα στο επόμενο στάδιο προκειμένου να επεξεργαστούν και να εξαχθούν από αυτά τα χαρακτηριστικά της υπογραφής.

4.3.2 Εξαγωγή κρίσιμων χαρακτηριστικών

Μετά την ολοκλήρωση της καταγραφής των δεδομένων που αφορούν μια υπογραφή, η εφαρμογή του συστήματος αυθεντικοποίησης αναλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων αυτών προκειμένου να εξάγει κάποια κρίσιμα χαρακτηριστικά της.

Κάθε πακέτο δεδομένων που έχει ληφθεί και αποθηκευτεί από την εφαρμογή, στο σύστημα αυθεντικοποίησης, περιέχει ένα σύνολο μετρήσεων που αφορούν τις τιμές επιτάχυνσης του αισθητήρα στις τρεις διαστάσεις του χώρου, σε διάφορες χρονικές στιγμές της κίνησης. Τα αποθηκευμένα δεδομένα πρέπει αρχικά να διαχωριστούν στις επιμέρους μετρήσεις που περιλαμβάνουν και στην συνέχεια, οι κρίσιμες από αυτές, να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενός ευρύτερου συνόλου δεδομένων τα οποία θα περιγράφουν πιο ολοκληρωμένα την δοθείσα υπογραφή.

Όσον αφορά τον διαχωρισμό των αποθηκευμένων δεδομένων, η εφαρμογή διαβάζει κάθε στοιχείο της δομής, αναγνωρίζει τα διάφορα τμήματα που αυτό περιλαμβάνει, κρατά τις επιμέρους μετρήσεις σε μία βοηθητική λίστα και διαγράφει το στοιχείο. Η συγκεκριμένη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η αρχική δομή αδειάσει. Όταν συμβεί αυτό, αφού διαγραφούν από το τέλος της βοηθητικής λίστας όσες μετρήσεις ανέφερε το μήνυμα τερματισμού ως μη κρίσιμες, οι υπόλοιπες χρησιμοποιούνται για την δημιουργία τριών διανυσμάτων που θα περιλαμβάνουν τις καταγεγραμμένες τιμές επιτάχυνσης, σε κάθε έναν από τους άξονες κίνησης (acc_x , acc_y , acc_z).



Εικόνα 4-9 : Διαδικασία εξαγωγής διανυσμάτων επιτάχυνσης

Τα διανύσματα που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία, χρησιμοποιούνται στην συνέχεια για εξαγωγή κάποιων επιπλέον χαρακτηριστικών, ενδεικτικών της υπογραφής. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μαζί με τα αρχικά διανύσματα επιτάχυνσης, χωρίζονται σε τοπικά και καθολικά και συνιστούν μια ολοκληρωμένη και αναλυτική περιγραφή της υπογραφής.

4.3.2.1 Τοπικά χαρακτηριστικά

Τα τοπικά χαρακτηριστικά της υπογραφής σχετίζονται με ιδιότητες της κίνησης, κατά τις χρονικές στιγμές που έγινε δειγματοληψία του επιταχυνσιομέτρου. Ενδεικτικά παραδείγματα τοπικών χαρακτηριστικών αποτελούν οι τιμές της επιτάχυνσης που καταγράφονται από τον αισθητήρα. Κάθε τοπικό χαρακτηριστικό αντιπροσωπεύεται από ένα διάνυσμα τιμών το οποίο προκύπτει από τα αντίστοιχα διανύσματα των καταγεγραμμένων τιμών επιτάχυνσης και έχει το ίδιο μήκος με αυτά.

Τα επιπλέον τοπικά χαρακτηριστικά της υπογραφής που εξάγονται από την εφαρμογή του συστήματος αυθεντικοποίησης είναι η συνολική επιτάχυνση του αισθητήρα ως προς το σύνολο των αξόνων ($|acc_{xyz}|$) και η κλίση της επιτάχυνσης του σε σχέση με καθέναν από τους άξονες ($tilt_x$, $tilt_y$, $tilt_z$).

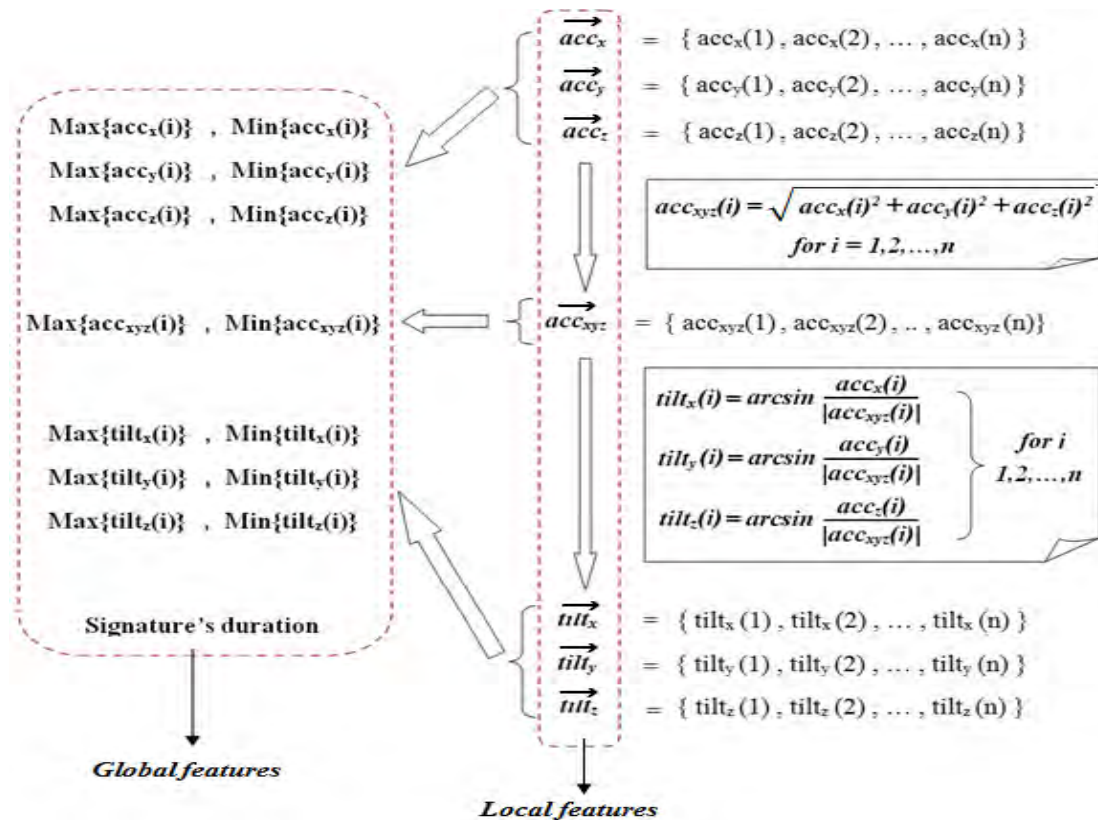
Αρχικά υπολογίζεται το διάνυσμα τιμών της συνολικής επιτάχυνσης του αισθητήρα. Η τιμή του i-οστού στοιχείου του διανύσματος αυτού, προκύπτει από τον υπολογισμό της τετραγωνικής ρίζας, του αθροίσματος των τετραγώνων των i-οστών στοιχείων των διανυσμάτων επιτάχυνσης, όλων των αξόνων.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα διανύσματα της κλίσης της επιτάχυνσης σε σχέση με κάθε άξονα. Η τιμή του i-οστού στοιχείου κάθε διανύσματος από αυτά, προκύπτει από τον υπολογισμό του τόξου ημιτόνου, του λόγου, του i-οστού στοιχείου του διανύσματος επιτάχυνσης στον αντίστοιχο άξονα, ως προς το i-οστό στοιχείο του διανύσματος συνολικής επιτάχυνσης.[20]

4.3.2.2 Καθολικά χαρακτηριστικά

Τα καθολικά χαρακτηριστικά, αφορούν γενικά γνωρίσματα της υπογραφής τα οποία την περιγράφουν στο σύνολό της. Ο υπολογισμός των καθολικών χαρακτηριστικών έπεται αυτού των τοπικών, ενώ αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι πρόκειται για απλές τιμές και όχι για διανύσματα, όπως στην περίπτωση των τοπικών χαρακτηριστικών.

Καθολικά χαρακτηριστικά, θεωρούνται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των επιταχύνσεων που παρατηρήθηκαν σε κάθε άξονα, των αντίστοιχων κλίσεων αλλά και της συνολικής επιτάχυνσης. Επιπλέον, ως καθολικό χαρακτηριστικό λογίζεται και η χρονική διάρκεια της υπογραφής, η οποία περιλαμβάνεται στο μήνυμα τερματισμού που έχει σταλεί από τον ασύρματο κόμβο στο σύστημα αυθεντικοποίησης. [23][24][25][26]



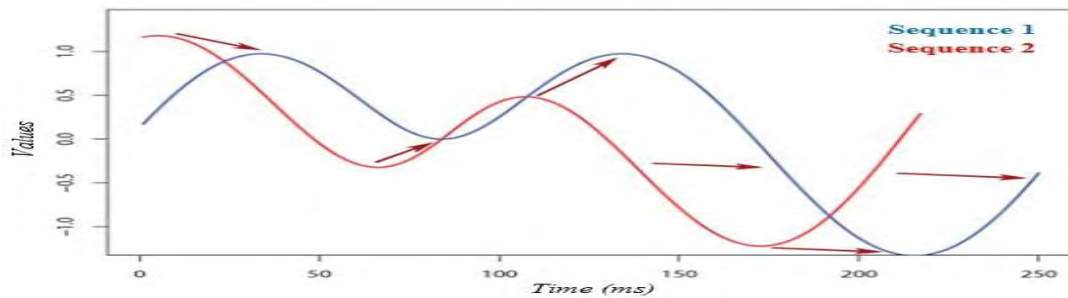
Εικόνα 4-10 : Εξαγωγή τοπικών και καθολικών χαρακτηριστικών υπογραφής

4.3.3 Ευθυγράμμιση ακολουθιών

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των δύο βασικών ενεργειών που εκτελούνται από το σύστημα αυθεντικοποίησης και αφορούν την δημιουργία και την σύγκριση προτύπων, πρέπει πρώτα να περιγραφεί η διαδικασία ευθυγράμμισης ακολουθιών η οποία χρησιμοποιείται από αυτές και είναι κρίσιμης σημασίας για την ορθότητα των αποτελεσμάτων που παράγουν.

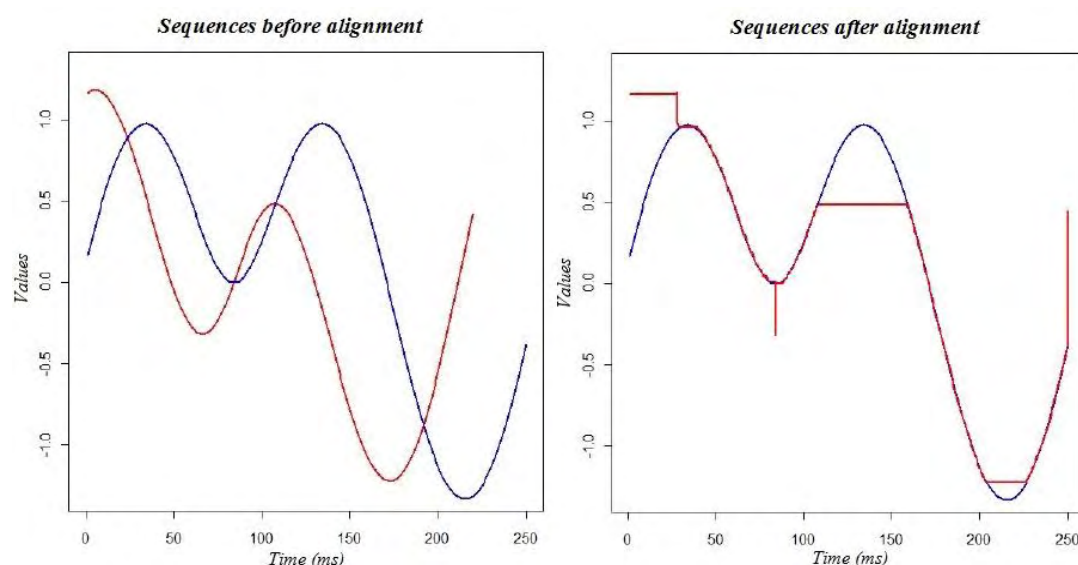
Τα τοπικά χαρακτηριστικά μιας υπογραφής αναπαριστώνται ως διανύσματα που περιέχουν τις τιμές του χαρακτηριστικού, στα χρονικά σημεία της κίνησης στα οποία

πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία του αισθητήρα. Οι εν λόγω ακολουθίες τιμών, για διαφορετικές εκτελέσεις της ίδιας υπογραφής, ενδέχεται να παρουσιάζουν μικρές διαφορές φάσης μεταξύ τμημάτων τους ή και να έχουν ελαφρώς διαφορετικά μήκη. Το γεγονός αυτό, δυσχεραίνει την διαχείριση των πανομοιότυπων διανυσμάτων από το σύστημα αυθεντικοποίησης, επηρεάζοντας τόσο την ποιότητα των προτύπων που συνθέτει κατά την διαδικασία εγγραφής, όσο και τα αποτελέσματα των συγκρίσεων που πραγματοποιεί κατά την διαδικασία αναγνώρισης.



Εικόνα 4-11 : Παράδειγμα πανομοιότυπων ακολουθιών με διαφορές φάσης και διάρκειας [29]

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, υλοποιήθηκε μία διαδικασία η οποία χρησιμοποιώντας έναν ειδικό για αυτόν τον σκοπό αλγόριθμο, αναλαμβάνει την ευθυγράμμιση δύο δοθέντων ακολουθιών ώστε να προκύψει η ελάχιστη δυνατή διαφορά μεταξύ των αντίστοιχων τιμών τους. Ο αλγόριθμος αυτός ονομάζεται DTW (Dynamic Time Warping) και περιγράφεται εκτενώς στην παράγραφο που ακολουθεί.



Εικόνα 4-12 : Ευθυγράμμιση ακολουθιών[29]

4.3.3.1 Ο αλγόριθμος DTW

Ο αλγόριθμος DTW (Dynamic Time Warping) αποτελεί τον πυρήνα της διαδικασίας που παρέχεται από το σύστημα αυθεντικοποίησης για την ευθυγράμμιση ακολουθιών. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο που εξειδικεύεται στο ταίριασμα διανυσμάτων με διαφορετικά μήκη. Ο αλγόριθμος υπολογίζει το βέλτιστο, μη-γραμμικό, μονοπάτι μεταξύ δύο διανυσμάτων έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μεταξύ τους απόσταση.

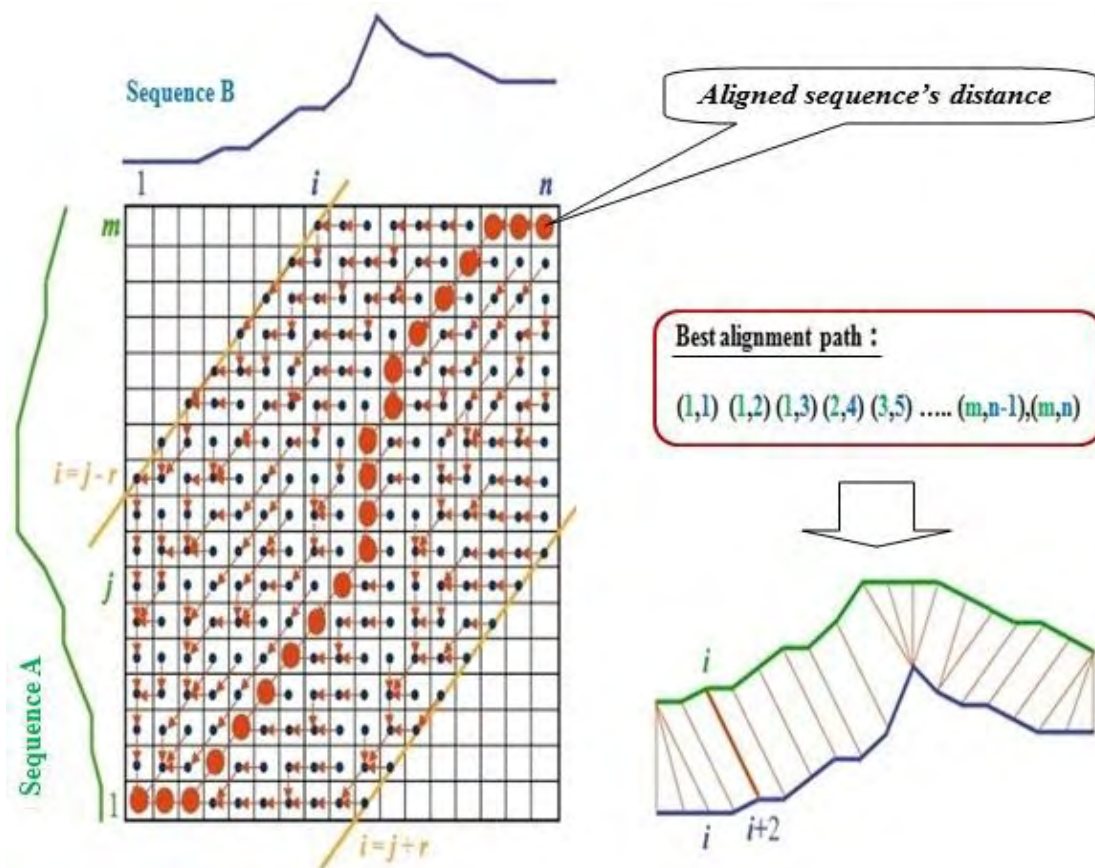
Προκειμένου ο αλγόριθμος να εντοπίσει την βέλτιστη ευθυγράμμιση δύο ακολουθιών μήκους M και N αντίστοιχα, κατασκευάζει έναν δισδιάστατο πίνακα αποστάσεων D, μεγέθους MxN. Κάθε στοιχείο [i,j] του πίνακα D, αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ του i-οστού στοιχείου της πρώτης ακολουθίας και του j-οστού στοιχείου της δεύτερης. Με δεδομένο τον πίνακα D, η εύρεση της βέλτιστης ευθυγράμμισης των ακολουθιών ανάγεται στην εύρεση του συντομότερου μονοπατιού για μετάβαση από το κελί [M,N] του πίνακα, στο κελί [1,1].

Για τον υπολογισμό του πίνακα D, χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση ED μεταξύ των στοιχείων των δύο ακολουθιών, όπου $ED[i,j]$ είναι η απόλυτη τιμή της διαφοράς της τιμής του i-οστού στοιχείου της πρώτης ακολουθίας με την τιμή του j-οστού στοιχείου της δεύτερης ακολουθίας. Αναλυτικά, η διαδικασία υπολογισμού του πίνακα D έχει ως εξής:

- 1) Υπολογισμός πρώτης γραμμής : $D[1,j] = \sum_{k=1}^j ED[1,k]$ για $j = 1, \dots, N$
- 2) Υπολογισμός πρώτης στήλης : $D[i,1] = \sum_{k=1}^i ED[k,1]$ για $i = 1, \dots, M$
- 3) Υπολογισμός υπόλοιπων στοιχείων : $D[i,j] = \min\{ D[i-1,j-1], D[i-1,j], D[i,j-1] \} + ED[i,j]$ για $i = 2, \dots, M$ και $j = 2, \dots, N$

Μετά το πέρας της ανωτέρω διαδικασίας η τιμή του στοιχείου D[M,N] αντιστοιχεί στην απόσταση των δύο ακολουθιών όταν σε αυτές εφαρμοστεί η βέλτιστη δυνατή ευθυγράμμιση. Το μονοπάτι που αντιστοιχεί στην εν λόγω ευθυγράμμιση ανακτάται επαναληπτικά, με οπισθοδρόμηση από το στοιχείο D[M,N] στο D[1,1], επιλέγοντας σε κάθε βήμα το μικρότερο των στοιχείων $D[i-1,j-1]$, $D[i-1,j]$ και $D[i,j-1]$.

Για την αντιμετώπιση της περίπτωσης ταιριάσματος στοιχείων των ακολουθιών με χρονική διαφορά μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη, ο αλγόριθμος τροποποιείται ώστε να περιλαμβάνει κάποιον περιορισμό σχετικό με την τοπικότητα των δεδομένων που αντιστοιχίζονται. Σύμφωνα με τον περιορισμό αυτόν, το i-οστό στοιχείο της πρώτης ακολουθίας μπορεί να αντιστοιχεί στο j-οστό στοιχείο της δεύτερης μόνο εάν η τιμή $|i-j|$ είναι μικρότερη από κάποιο προκαθορισμένο όριο r. Επιπλέον, για την σωστή λειτουργία του αλγορίθμου, ο παράγοντας r πρέπει να μην είναι μικρότερος από την διαφορά των μηκών των δύο ακολουθιών. [\[28\]\[29\]\[Παράρτημα Β\]](#)



Εικόνα 4-13 : Εύρεση βέλτιστου μονοπατιού ευθυγράμμισης ακολουθιών με τον αλγόριθμο DTW [30]

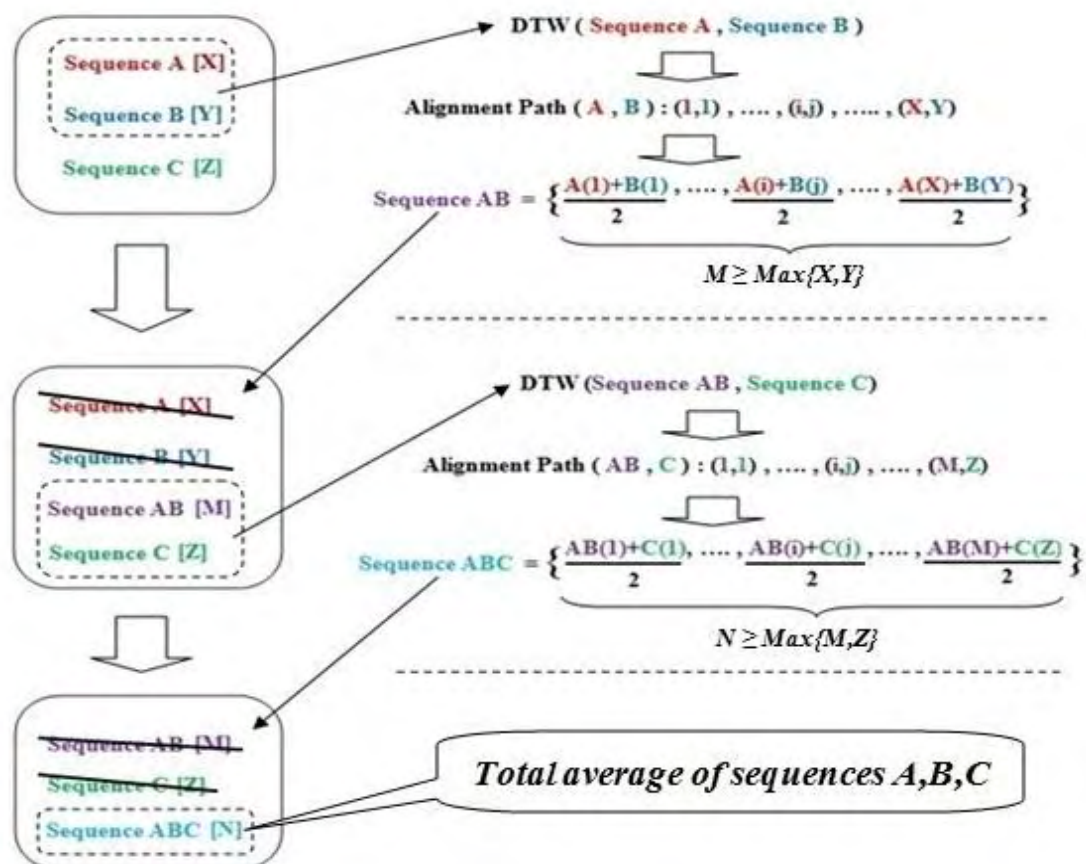
4.3.4 Δημιουργία προτύπου

Η δημιουργία προτύπου υπογραφής είναι η βασική διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο σύστημα αυθεντικοποίησης, κατά την εγγραφή ενός νέου χρήστη σε αυτό. Κατά την διαδικασία αυτή, γίνεται σύνθεση των δεδομένων ενός συνόλου δοκιμαστικών υπογραφών που έχει δώσει ο χρήστης προκειμένου να εξαχθεί ένα γενικό πρότυπο, όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτικό, της υπογραφής του. Παράλληλα, από τα δεδομένα των δοκιμαστικών υπογραφών προκύπτουν και τα όρια ανοχής που θα επιδεικνύει το σύστημα, στην μετέπειτα διαδικασία αναγνώρισης της υπογραφής.

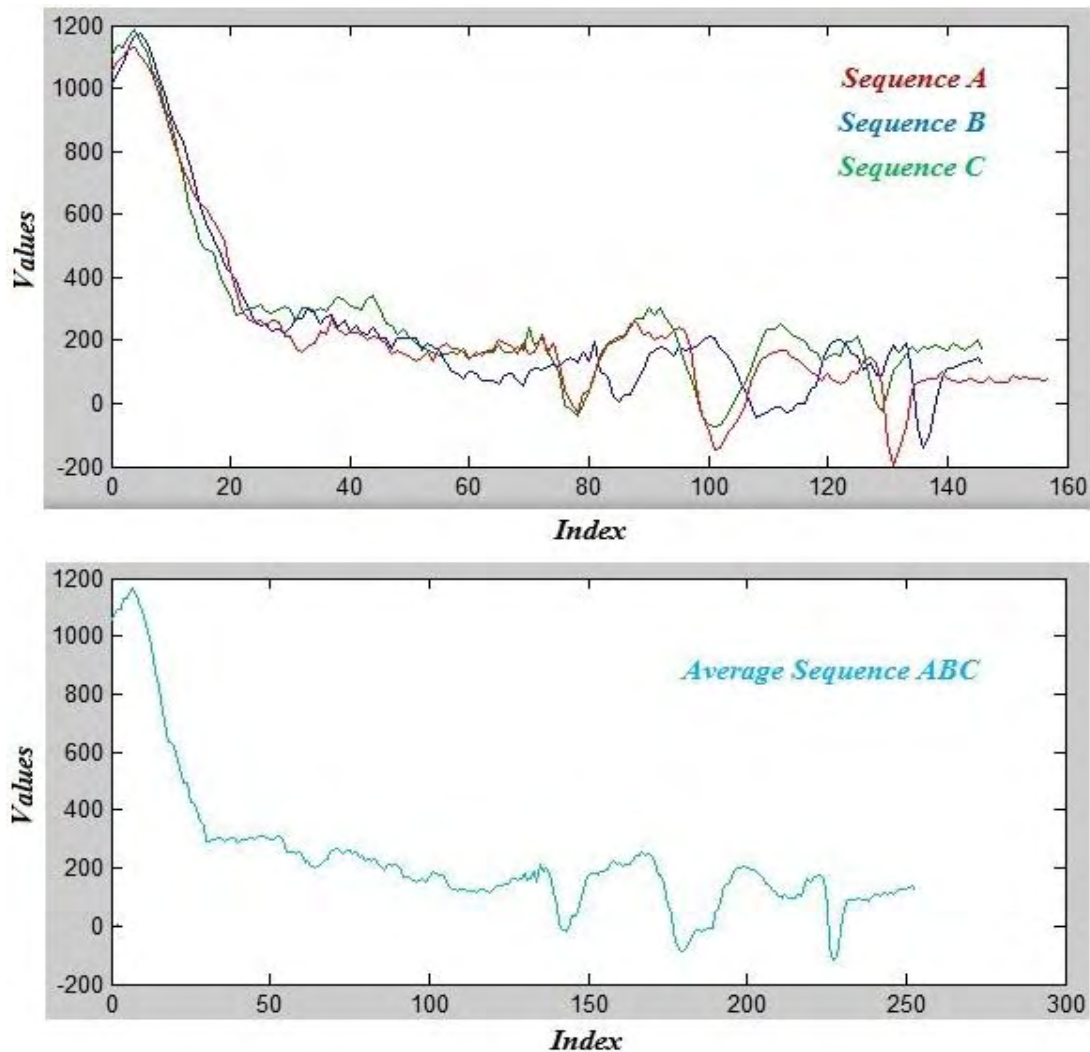
Σε πρώτη φάση, καταγράφονται στο σύστημα αυθεντικοποίησης, τα δεδομένα των δοκιμαστικών υπογραφών και υπολογίζονται οι τιμές των τοπικών και καθολικών χαρακτηριστικών καθεμιάς εξ αυτών. Στην συνέχεια, τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των υπογραφών, χρησιμοποιούνται από το σύστημα αυθεντικοποίησης για παραγωγή των τοπικών και καθολικών χαρακτηριστικών που θα αποτελέσουν τα δεδομένα του προτύπου της υπογραφής.

Η πρότυπη τιμή κάθε καθολικού χαρακτηριστικού προκύπτει με τον υπολογισμό του μέσου όρου των αντίστοιχων τιμών του χαρακτηριστικού, σε όλες τις δοκιμαστικές υπογραφές. Η πρότυπη ακολουθία τιμών κάθε τοπικού χαρακτηριστικού προκύπτει από μία επαναληπτική διαδικασία, η οποία υλοποιήθηκε ώστε να υπολογίζει έναν ποιοτικό μέσο όρο, των αντίστοιχων ακολουθιών τιμών του χαρακτηριστικού σε όλες τις δοκιμαστικές υπογραφές. *[Παράρτημα Γ]*

Σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας, επιλέγονται δύο από τις διαθέσιμες ακολουθίες τιμών και εκτελείται ο αλγόριθμος DTW ώστε να υπολογιστεί το μονοπάτι βέλτιστης ευθυγράμμισης τους. Στην συνέχεια για κάθε ένα από τα στοιχεία του μονοπατιού (i,j) υπολογίζεται η μέση τιμή του i-οστού στοιχείου της πρώτης ακολουθίας και του j-οστού στοιχείου της δεύτερης. Προκύπτει κατ' αυτόν τον τρόπο μία νέα ακολουθία τιμών η οποία αποτελεί τον μέσο όρο των δύο αρχικών ακολουθιών και συνήθως είναι μεγαλύτερου μήκους από αυτές. Οι αρχικές ακολουθίες διαγράφονται από το σύνολο των διαθέσιμων ακολουθιών και την θέση τους παίρνει η νέα ακολουθία που προέκυψε από τον συνδυασμό τους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου στο σύνολο των διαθέσιμων ακολουθιών μείνει μόνο μία ακολουθία η οποία και θα αποτελεί τον μέσο όρο όλων των ακολουθιών που υπήρχαν αρχικά στο σύνολο.



Εικόνα 4-14 : Παράδειγμα υπολογισμού μέσου όρου τριών ακολουθιών



Εικόνα 4-15 : Γραφική απεικόνιση μέσου όρου τριών ακολουθιών

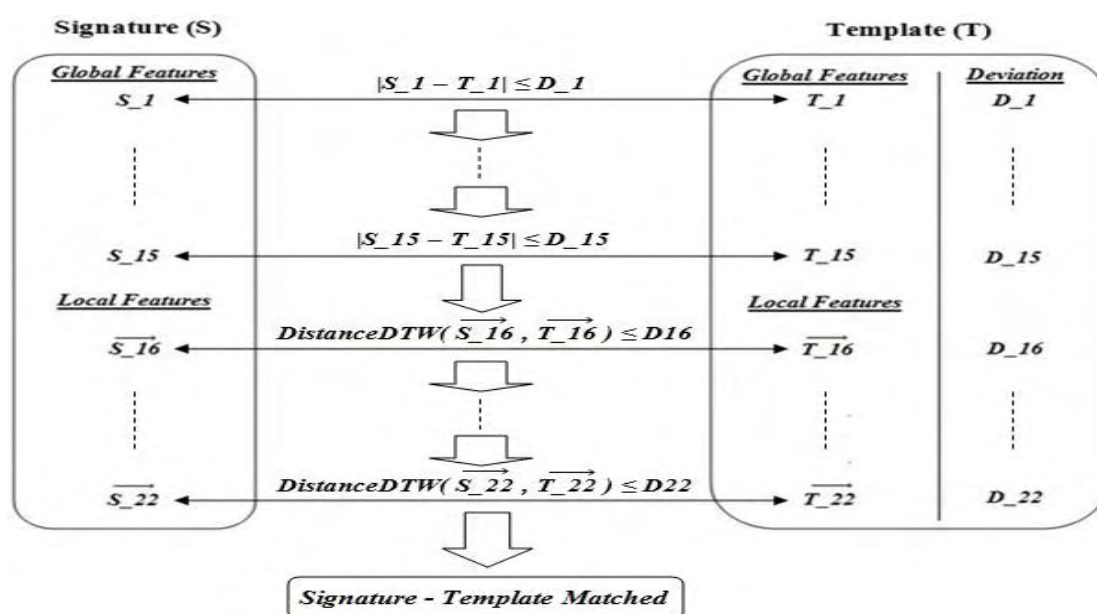
Παράλληλα με τον υπολογισμό των πρότυπων τιμών των τοπικών και καθολικών χαρακτηριστικών της υπογραφής, υπολογίζονται και τα όρια ανοχής του συστήματος, όσον αφορά την μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση κάθε χαρακτηριστικού, για αναγνώριση της υπογραφής. Τα όρια αυτά είναι διαφορετικά για κάθε πρότυπο και σχετίζονται με τις αποστάσεις των αντίστοιχων χαρακτηριστικών στις δοκιμαστικές υπογραφές, από τις οποίες προέκυψε.

Συγκεκριμένα, η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση ενός χαρακτηριστικού είναι ανάλογη της μέγιστης διαφοράς που παρατηρείται μεταξύ των τιμών του χαρακτηριστικού, στις δοκιμαστικές υπογραφές. Ως συνετελεστές αναλογίας, χρησιμοποιούνται κάποιοι προκαθορισμένοι παράγοντες που σχετίζονται με την ευαισθησία του συστήματος, στις αποκλίσεις κάθε χαρακτηριστικού. Ως διαφορά, για τα καθολικά χαρακτηριστικά ορίζεται η ευκλείδεια απόσταση των τιμών τους ενώ για τα τοπικά χαρακτηριστικά η απόσταση των ακολουθιών τους, η οποία υπολογίζεται από τον αλγόριθμο DTW.

4.3.5 Σύγκριση προτύπων

Η σύγκριση προτύπων εκτελείται από το σύστημα αυθεντικοποίησης προκειμένου να γίνει αναγνώριση ή απόρριψη της υπογραφής ενός χρήστη. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα δεδομένα που εξάγονται από την δοθείσα υπογραφή συγκρίνονται με τα δεδομένα, όλων των αποθηκευμένων στο σύστημα, προτύπων. Τα πρότυπα που ταιριάζουν με την υπογραφή, εάν υπάρχουν, τοποθετούνται σε ένα επιμέρους σύνολο από όπου, στο τέλος της διαδικασίας, επιλέγεται εκείνο με το οποίο πραγματοποιήθηκε το βέλτιστο ταίριασμα και συνεπώς αντιστοιχεί στην υπογραφή.

Σε πρώτη φάση, τα χαρακτηριστικά που εξάγονται από την υπογραφή, συγκρίνονται με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά κάθε προτύπου που βρίσκεται αποθηκευμένο στο σύστημα αυθεντικοποίησης. Για να θεωρηθεί ότι δύο χαρακτηριστικά ταιριάζουν, θα πρέπει η μεταξύ τους διαφορά, να μην υπερβαίνει την μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του -υπό εξέταση- προτύπου. Ως διαφορά, για τα καθολικά χαρακτηριστικά ορίζεται η ευκλείδεια απόσταση των τιμών τους ενώ για τα τοπικά χαρακτηριστικά η απόσταση των ακολουθιών τους, η οποία υπολογίζεται από τον αλγόριθμο DTW.



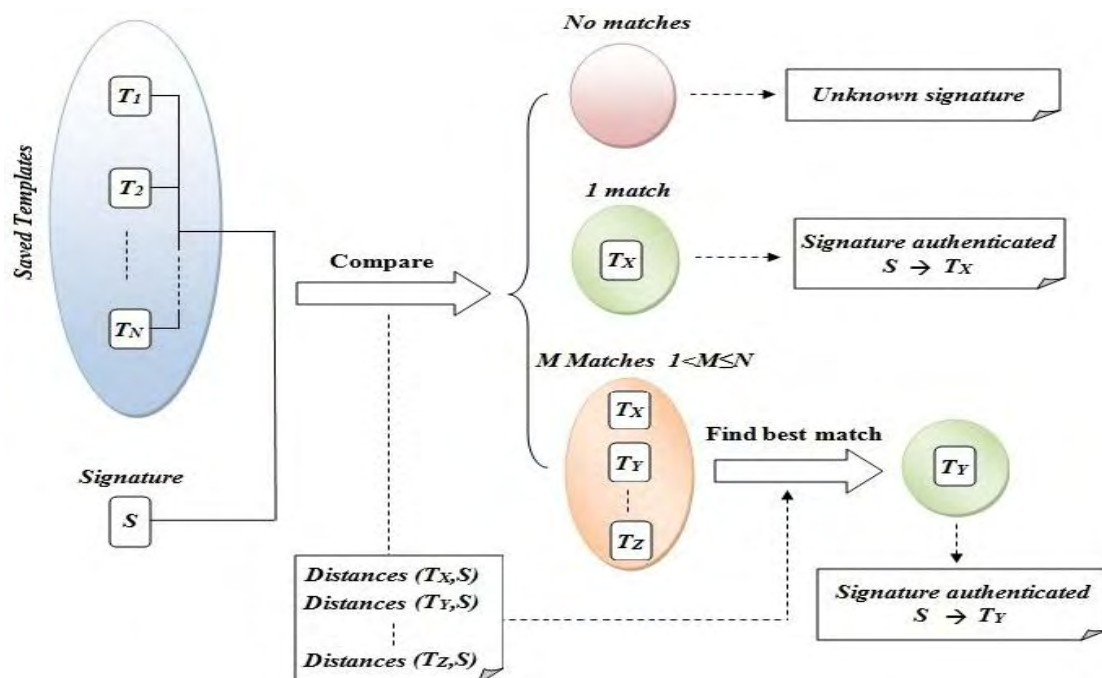
Εικόνα 4-16 : Διαδικασία σύγκρισης της υπογραφής με ένα από τα πρότυπα

Προκειμένου να επιτευχθεί το ταίριασμα ενός προτύπου με την υπογραφή, θα πρέπει να ταιριάζουν όλα τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Για λόγους αποδοτικότητας, προηγείται η σύγκριση των καθολικών χαρακτηριστικών έτσι ώστε κάποια από τα

πρότυπα να απορριφθούν, χωρίς να χρειαστεί να εκτελεστεί η πιο σύνθετη διαδικασία σύγκρισης των τοπικών χαρακτηριστικών. Το πρώτο στάδιο ολοκληρώνεται, όταν η υπογραφή έχει συγκριθεί με όλα τα πρότυπα που είναι αποθηκευμένα στο σύστημα αυθεντικοποίησης.

Μετά το πέρας της ανωτέρω διαδικασίας, έχει δημιουργηθεί ένα σύνολο που περιέχει όλα τα πρότυπα τα οποία πέρασαν επιτυχώς το στάδιο της σύγκρισης και συνεπώς είναι πιθανόν να αντιστοιχούν στην υπογραφή. Εάν το εν λόγω σύνολο είναι κενό, η υπογραφή δεν αναγνωρίζεται από το σύστημα, καθώς δεν υπάρχει πρότυπο με το οποίο να ταιριάζει. Εάν το σύνολο περιλαμβάνει ένα μόνο πρότυπο, η υπογραφή αντιστοιχίζεται σε αυτό και αναγνωρίζεται από το σύστημα αυθεντικοποίησης. Στην περίπτωση που το σύνολο περιέχει περισσότερα του ενός πρότυπα, λαμβάνει χώρα μία επιπλέον διαδικασία για την αντιστοίχιση της υπογραφής στο πρότυπο εκείνο με το οποίο πραγματοποιήθηκε το βέλτιστο ταίριασμα.

Κατά την διαδικασία εντοπισμού του βέλτιστου προτύπου, το σύστημα ελέγχει τις διαφορές τιμών μεταξύ των χαρακτηριστικών κάθε αποδεκτού προτύπου και της υπογραφής, προκειμένου να αποφανθεί ποιο πρότυπο ταιριάζει καλύτερα σε αυτήν. Τελικά, στην υπογραφή αντιστοιχίζεται το πρότυπο που παρουσιάζει την μικρότερη διαφορά για τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά που ελέγχθηκαν. Με την εν λόγω διαδικασία, ενισχύεται η ικανότητα του συστήματος να αναγνωρίζει σωστά τις υπογραφές των εγγεγραμμένων χρηστών, ακόμα και στην περίπτωση που κάποιες εξ' αυτών είναι πανομοιότυπες μεταξύ τους. [27]



Εικόνα 4-17 : Διαδικασία ελέγχου υπογραφής

4.4 Μονάδα αποθήκευσης

Η περιγραφή του συστήματος ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των μονάδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση των δεδομένων που αντιστοιχούν στις υπογραφές των εγγεγραμμένων χρηστών. Οι λειτουργίες που πρέπει να επιτελεί η μονάδα αποθήκευσης που θα πλαισιώνει το σύστημα αυθεντικοποίησης, είναι η αποθήκευση των προτύπων που δημιουργούνται κατά την εγγραφή των χρηστών και η φόρτωση των προτύπων αυτών, για σύγκριση τους με τη δοθείσα υπογραφή, κατά την διαδικασία αναγνώρισης.

Προκειμένου να εκτελεστούν αποδοτικά οι λειτουργίες του συστήματος, η μονάδα αποθήκευσης πρέπει να είναι σε θέση να φιλοξενήσει μεγάλο όγκο δεδομένων τα οποία θα διατίθενται στο σύστημα, σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο. Συνεπώς, η μονάδα που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να διαθέτει μεγάλο αποθηκευτικό χώρο και να παρέχει κατάλληλη οργάνωση των δεδομένων, ώστε να διευκολύνεται η προσπέλαση τους, από την εφαρμογή του συστήματος αυθεντικοποίησης.

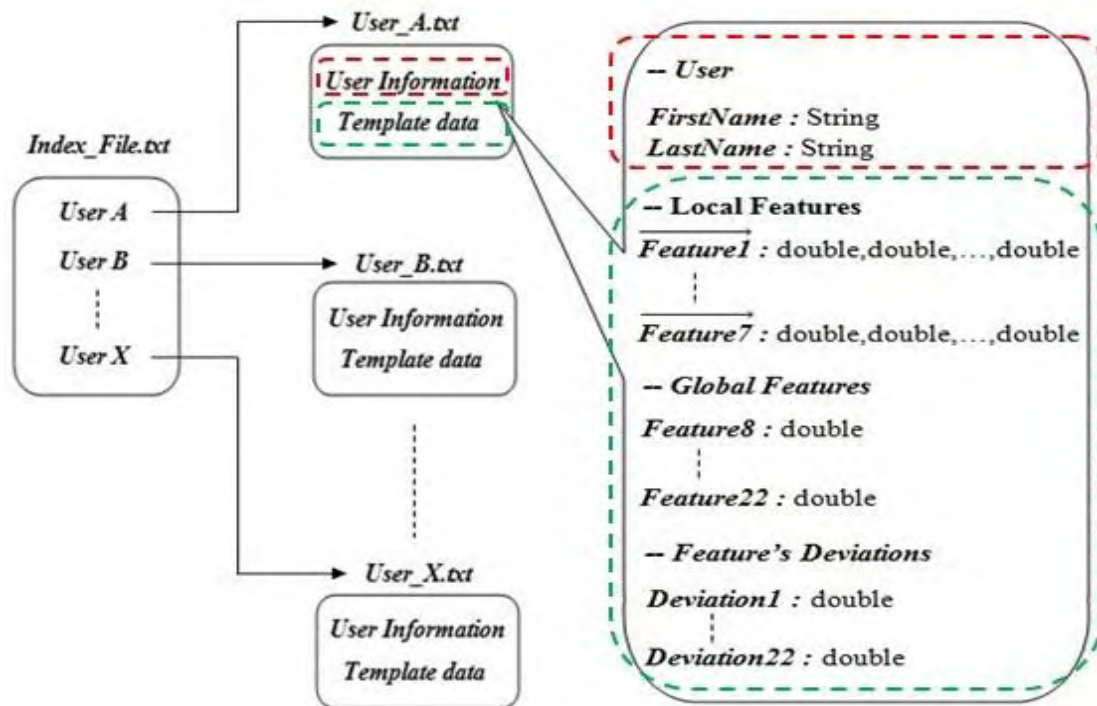
Στα πλαίσια των παραπάνω απαιτήσεων, ως αποθήκη των προτύπων του συστήματος αυθεντικοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα αρχείων του υπολογιστή στον οποίο εκτελείται η εφαρμογή ή μία βάση δεδομένων εγκατεστημένη σε αυτόν. Στις παραγράφους που ακολουθούν, γίνεται μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας και του τρόπου οργάνωσης των αποθηκευμένων δεδομένων σε κάθε περίπτωση.

4.4.1 Σύστημα αρχείων

Το σύστημα αρχείων του υπολογιστή όπου εκτελείται η εφαρμογή του συστήματος αυθεντικοποίησης, αποτελεί την πρώτη επιλογή για την αποθήκευση των προτύπων υπογραφών των εγγεγραμμένων χρηστών. Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα του προτύπου υπογραφής που προκύπτει κατά την εγγραφή ενός χρήστη στο σύστημα, αποθηκεύονται σε ένα νέο αρχείο που δημιουργείται για τον σκοπό αυτό. Το εν λόγω αρχείο περιλαμβάνει το ονοματεπώνυμο του χρήστη, τα πρότυπα τοπικά και καθολικά χαρακτηριστικά της υπογραφής του και τις μέγιστες επιτρεπτές αποκλίσεις για κάθε ένα από αυτά. Κατά την διαδικασία της αναγνώρισης, τα περιεχόμενα κάθε αρχείου διαβάζονται από το σύστημα αυθεντικοποίησης προκειμένου να εκτελεστεί η σύγκριση του αντίστοιχου προτύπου με την δοθείσα υπογραφή.

Για την ευκολότερη διαχείριση των αρχείων του συστήματος αυθεντικοποίησης όπου είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα των χρηστών, διατηρείται ένα επιπλέον αρχείο που λειτουργεί ως ευρετήριο. Το συγκεκριμένο αρχείο, ονομάζεται αρχείο καταλόγου και

περιλαμβάνει τα ονόματα των χρηστών που είναι εγγεγραμμένοι στο σύστημα κάθε στιγμή, αντιστοιχίζοντας τον καθένα από αυτούς στο αρχείο όπου βρίσκονται τα δεδομένα του προτύπου υπογραφής του. Το αρχείο καταλόγου προσπελάζεται από το σύστημα αυθεντικοποίησης κατά τις διαδικασίες εγγραφής και αναγνώρισης χρήστη προκειμένου να επιταχυνθούν οι λειτουργίες που πρέπει να εκτελεστούν σε κάθε περίπτωση.



Εικόνα 4-18 : Αποθήκευση δεδομένων στο σύστημα αρχείων

4.4.2 Βάση δεδομένων

Το σύστημα αυθεντικοποίησης μπορεί, εναλλακτικά, να χρησιμοποιεί ως μονάδα αποθήκευσης μία βάση δεδομένων που θα βρίσκεται εγκατεστημένη στον υπολογιστή του συστήματος. Σε αυτήν την περίπτωση, η βάση δεδομένων διαθέτει έναν πίνακα, κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε σε κάθε πλειάδα του να μπορεί να συμπεριληφθεί το σύνολο των δεδομένων που αντιστοιχούν σε έναν εγγεγραμμένο χρήστη. Ο πίνακας για το σκοπό αυτό, παρέχει πεδία για την αποθήκευση των στοιχείων ταυτότητας του χρήστη, των χαρακτηριστικών της υπογραφής του και των μέγιστων επιτρεπτών αποκλίσεων για κάθε ένα από αυτά. Ο συνδυασμός των πεδίων που αντιστοιχούν στα στοιχεία ταυτότητας του χρήστη, αποτελούν το πρωτεύον κλειδί του πίνακα.

	User Information		Template Data								
	Firstname [PK] text	Lastname [PK] text	Local Features			Global Features		Feature's Deviations			
			Feature1 text	---	Feature7 text	Feature8 double precision	---	Feature22 double precision	Deviation1 double precision	---	Deviation22 double precision
User_A	"String"	"String"	"Sequence"	---	"Sequence"	Double	---	Double	Double	---	Double
User_B	"String"	"String"	"Sequence"	---	"Sequence"	Double	---	Double	Double	---	Double
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
User_X	"String"	"String"	"Sequence"	---	"Sequence"	Double	---	Double	Double	---	Double

Εικόνα 4-19 : Αποθήκευση σε βάση δεδομένων

Κατά την διαδικασία εγγραφής ενός νέου χρήστη, η εφαρμογή του συστήματος αυθεντικοποίησης συνδέεται με την βάση δεδομένων και προσθέτει στον πίνακα μία νέα πλειάδα που περιέχει τα στοιχεία του χρήστη και τα δεδομένα του προτύπου υπογραφής του. Κατά την αναγνώριση χρήστη, η εφαρμογή συνδέεται με την βάση δεδομένων και φορτώνει κάθε πλειάδα του πίνακα για να συγκρίνει το πρότυπο που περιέχεται σε αυτήν, με την δοθείσα υπογραφή.

5 *Παράδειγμα χρήσης συστήματος*

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα δοθεί ένα παράδειγμα χρήσης του συστήματος με σκοπό την περιγραφή των βασικών ενεργειών που πρέπει να εκτελεστούν από τους χρήστες του και την παρουσίαση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων που παράγονται από το σύστημα κατά την εκτέλεση τους. Για τις ανάγκες του παραδείγματος θα χρησιμοποιηθεί ως αισθητήρας μέτρησης, ένας ασύρματος κόμβος Wasmote και ως μονάδα αποθήκευσης των δεδομένων, το σύστημα αρχείων του υπολογιστή όπου εκτελείται η εφαρμογή αυθεντικοποίησης.

5.1 *Αισθητήρας μέτρησης*

Ο αισθητήρας Wasmote του συστήματος, έχει προγραμματιστεί ώστε να μετρά την επιτάχυνση του, στους τρεις άξονες του χώρου, κάθε 50ms. Τα πακέτα που στέλνονται στο σύστημα αυθεντικοποίησης περιλαμβάνουν στο payload τους, δεδομένα από έξι μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου. Κάθε νέα τιμή επιτάχυνσης που καταγράφεται από τον αισθητήρα, συνδυάζεται με τις δύο προηγούμενες μετρήσεις χρησιμοποιώντας το moving average filter. Ο αισθητήρας θεωρεί ότι η κίνηση του χρήστη έχει λάβει τέλος μετά από 20 περιόδους δειγματοληψίας χωρίς αλλαγές στην επιτάχυνση σε κανέναν από τους τρεις άξονες. Για τις ανάγκες της υλοποίησης χρησιμοποιείται κάποιο όριο ανοχής όσον αφορά την ακινησία του αισθητήρα, έτσι ώστε τιμές που απέχουν ± 30 να θεωρούνται ίδιες. [\[Παράρτημα Δ\]](#)



Εικόνα 5-1 : Παράμετροι λειτουργίας αισθητήρα συστήματος

5.2 Σύστημα αυθεντικοποίησης

Στο σύστημα αυθεντικοποίησης εκτελείται μια εφαρμογή που παρέχει το γραφικό περιβάλλον το οποίο διαχειρίζεται τις λειτουργίες του συστήματος και αποτελεί το μέσο αλληλεπίδρασης με τους χρήστες. Οι βασικές λειτουργίες που παρέχονται από την εφαρμογή του συστήματος είναι η εγγραφή ενός νέου χρήστη και η αναγνώριση ενός εγγεγραμμένου χρήστη.

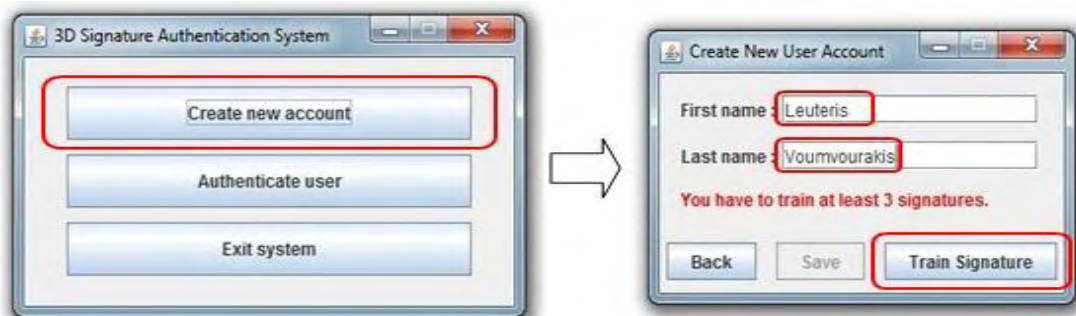


Εικόνα 5-2 : Σύστημα αυθεντικοποίησης

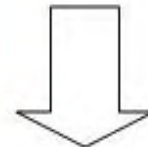
5.2.1 Εγγραφή χρήστη

Η πρώτη διαθέσιμη λειτουργία, όπως προαναφέρθηκε, αφορά την εγγραφή ενός νέου χρήστη στο σύστημα. Ακολουθούν οι ενέργειες που πρέπει να εκτελέσει ο χρήστης προκειμένου να εγγραφεί στο σύστημα.

Βήμα 1^ο : Εισαγωγή στοιχείων



Βήμα 2^ο : Εκτέλεση δοκιμαστικής υπογραφής

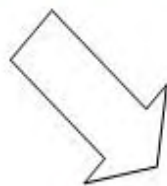
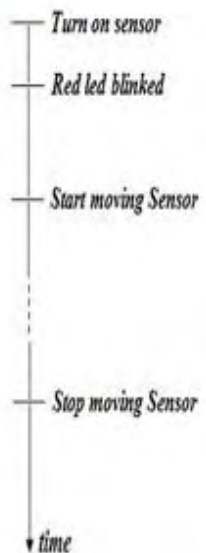


Serial Port

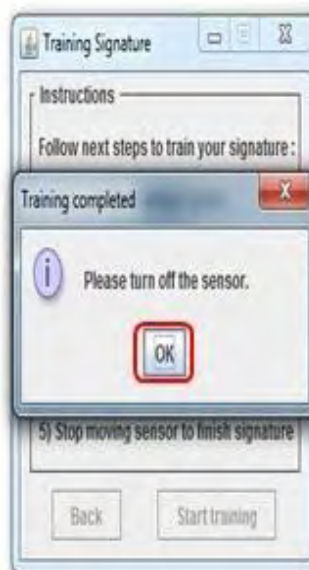
#982,-101,-7#985,-120,-59#983,-141,-128#1009,-129,-247#1009,-137,-339#1043,-148,-439#
#1047,-185,-509#1075,-198,-614#1065,-245,-681#1041,-264,-761#993,-285,-807#942,-241,-889#

...

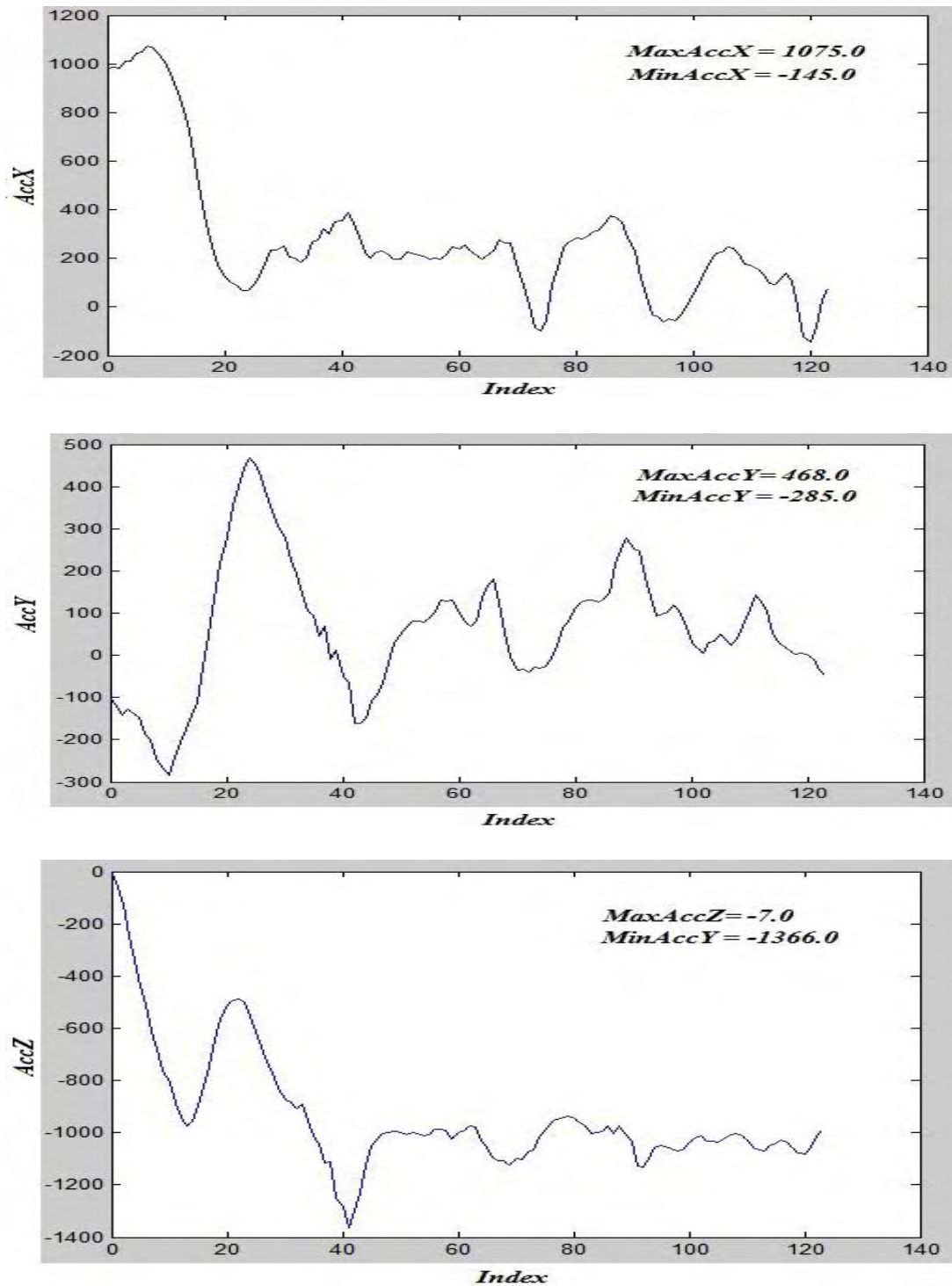
#94,52,-1051#115,32,-1039#137,21,-1030#104,13,-1036#1,3,-1056#-123,4,-1080#
#-145,1,-1082#-83,-10,-1054#30,-36,-1016#77,-47,-990#203,34,936#106,-14,-1004#
#134,1,-1033#154,0,-1042#163,3,-1044#150,1,-1037#139,0,-1021#143,4,-1019#
#143,-6,-1018#131,-3,-1025#133,3,-1029#148,5,-1021#131,-3,-1020#148,-18,-1012#
#MOVEMENT FINISHED#D#6220#U#14#



Signature duration : 6220ms
Number of useless measurements : 14

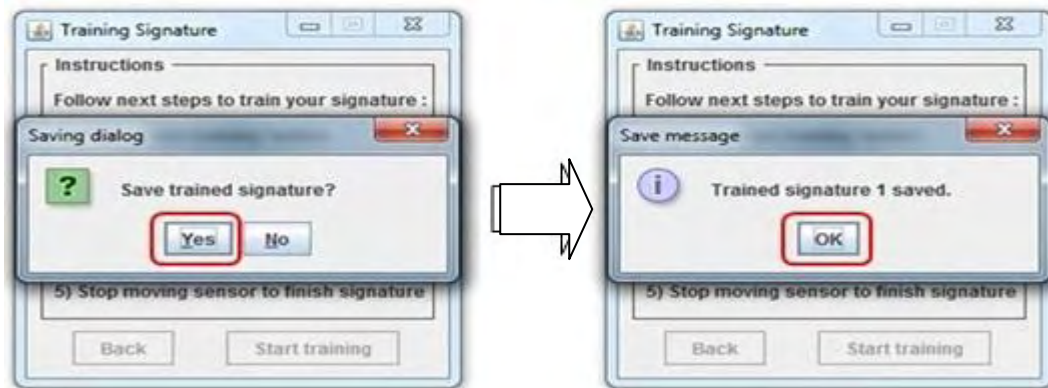


Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, στο σύστημα έχουν αποθηκευτεί μόνο τα δεδομένα που περιελάμβαναν τα πακέτα του αισθητήρα από τα οποία προκύπτουν οι ακολουθίες τιμών $AccX$, $AccY$, $AccZ$ της δοθείσας υπογραφής και οι αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες τιμές κάθε μίας εξ αυτών.

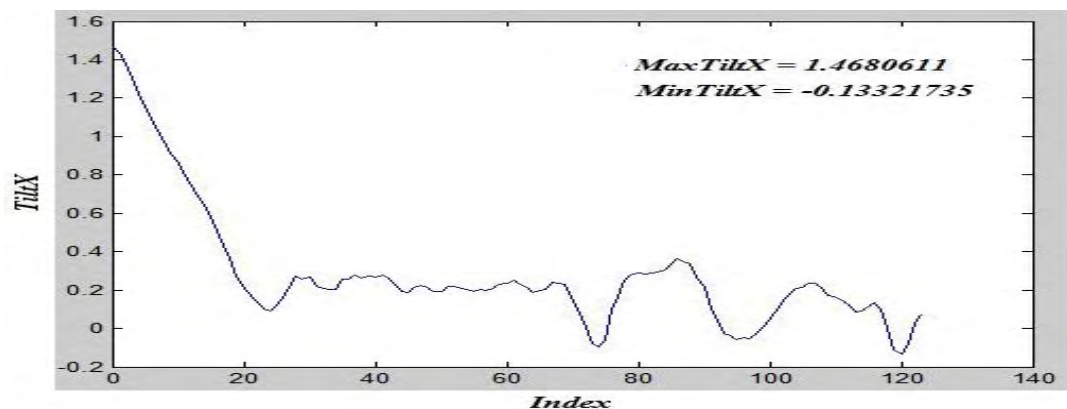
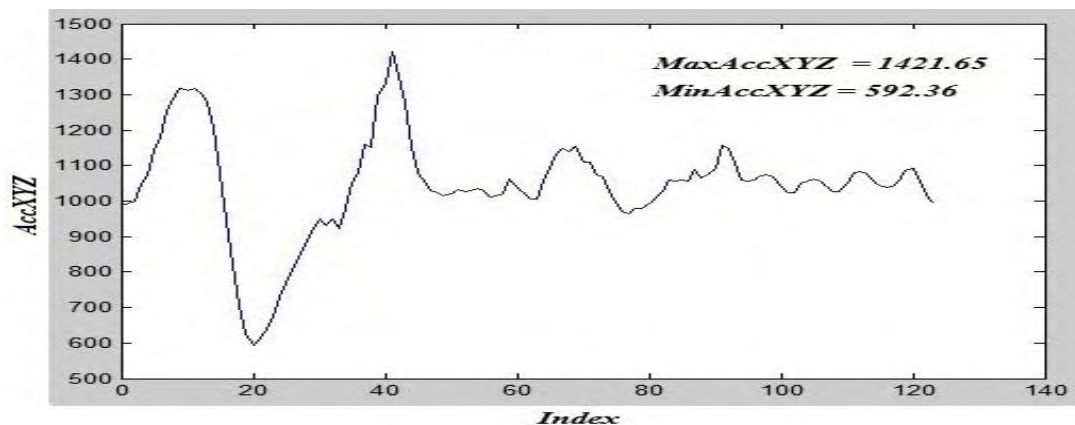


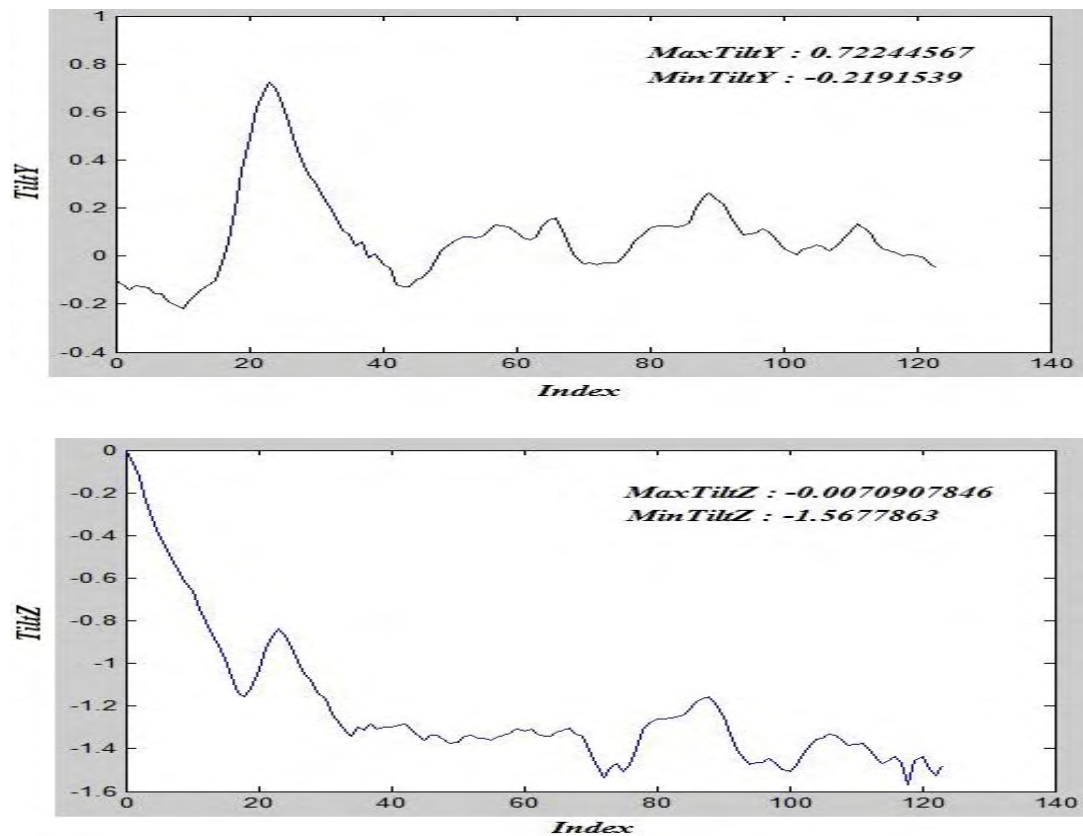
Εικόνα 5-3 : Γραφική απεικόνιση ακολουθιών $accX$, $accY$ και $accZ$ δοκιμαστικής υπογραφής

Βήμα 3^ο : Αποθήκευση δοκιμαστικής υπογραφής



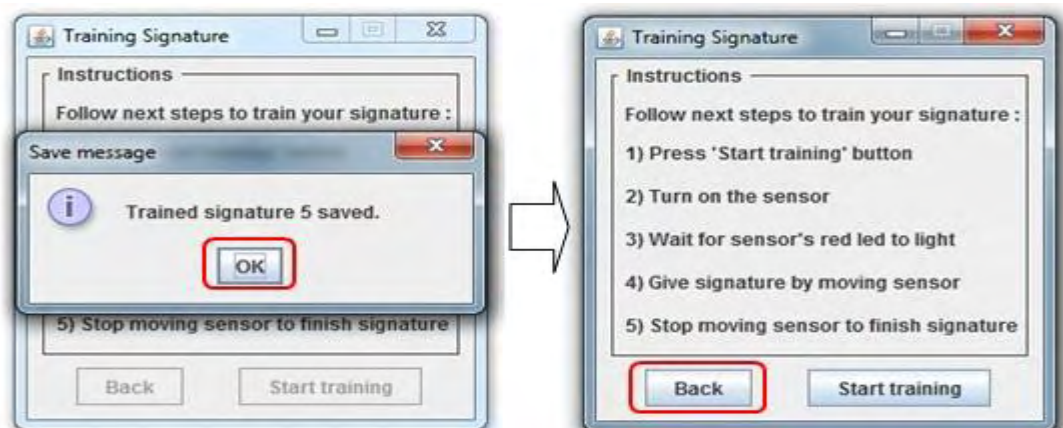
Εάν ο χρήστης επιλέξει να γίνει αποθήκευση της δοκιμαστικής υπογραφής, από τις αρχικές ακολουθίες, υπολογίζονται και αποθηκεύονται στο σύστημα οι ακολουθίες accXYZ, tiltX, tiltY, tiltZ. Επιπλέον, όπως και στο προηγούμενο βήμα, υπολογίζονται για κάθε μία από τις νέες ακολουθίες οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές.





Εικόνα 5-4 :Γραφική απεικόνιση ακολουθιών *accXYZ*, *tiltX*, *tiltY* και *tiltZ* δοκιμαστικής υπογραφής

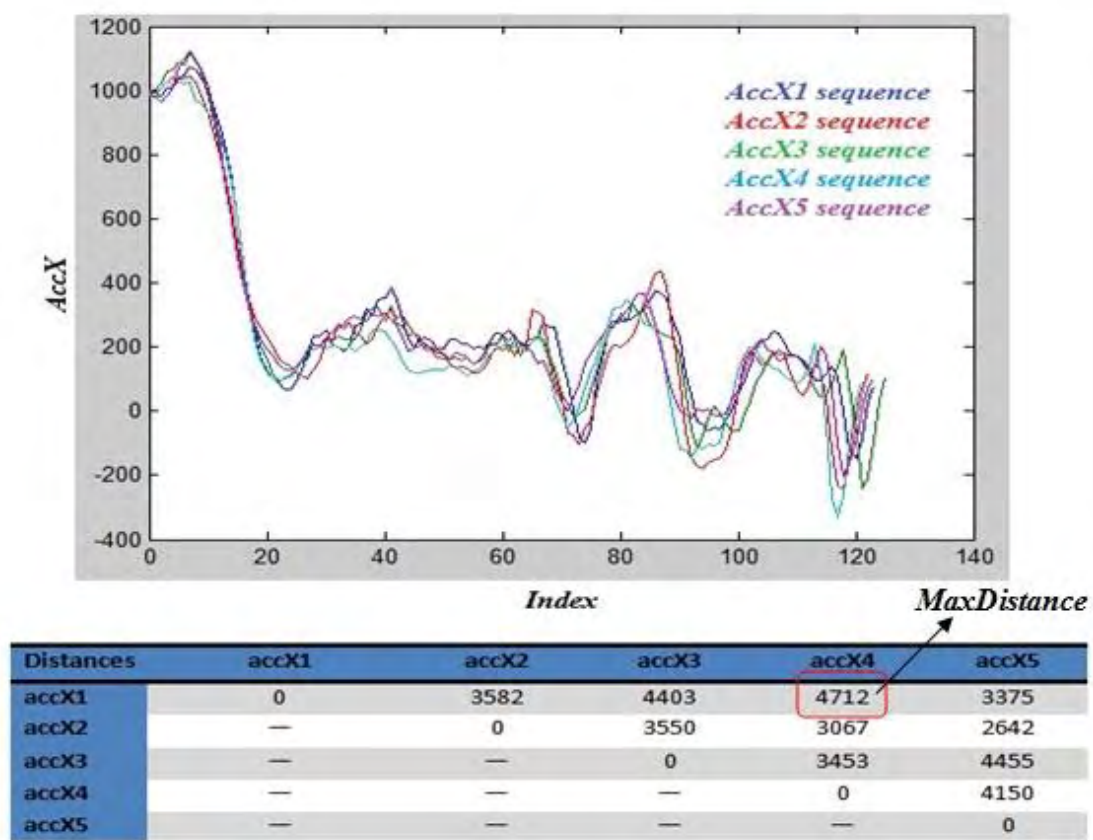
Οι διαδικασίες των βημάτων 2 και 3 επαναλαμβάνονται τόσες φορές, όσες και οι δοκιμαστικές υπογραφές που ο χρήστης επιθυμεί να αποθηκεύσει στο σύστημα για να συνθέσουν το πρότυπο υπογραφής του. Προκειμένου το σύστημα να είναι σε θέση να υπολογίσει πρότυπο υπογραφής, απαιτείται από τον χρήστη η υποβολή τουλάχιστον τριών δοκιμαστικών υπογραφών. Στο παρών παράδειγμα ο χρήστης επιλέγει να δώσει πέντε δοκιμαστικές υπογραφές.



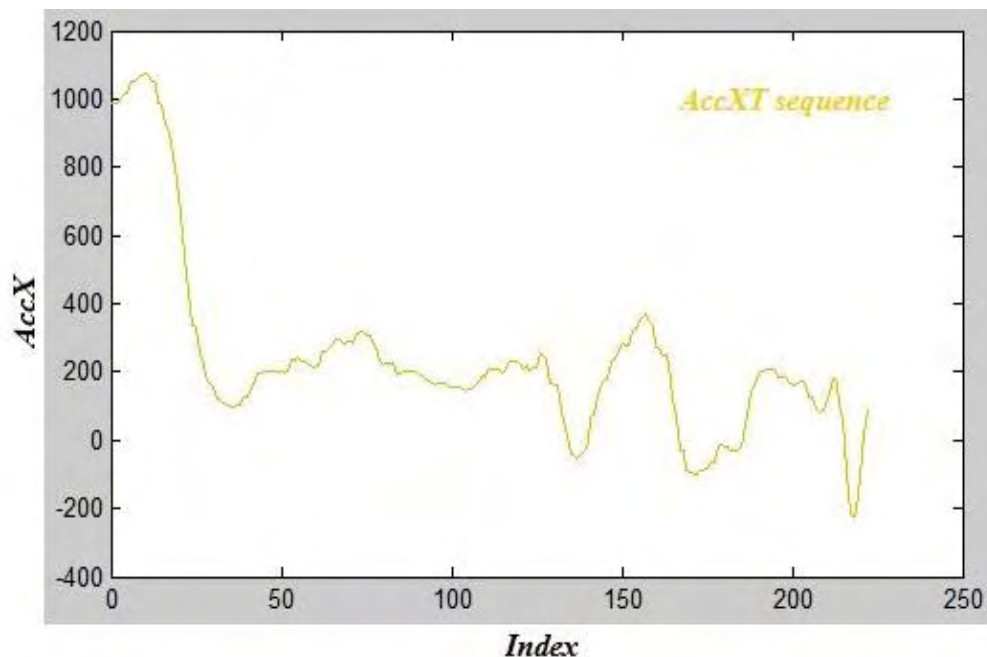
Βήμα 4^ο : Δημιουργία λογαριασμού



Εάν ο χρήστης επιλέξει αποθήκευση λογαριασμού, λαμβάνει χώρα στο σύστημα η διαδικασία δημιουργίας του προτύπου της υπογραφής. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο υπολογισμός του προτύπου ενός τοπικού και ενός καθολικού χαρακτηριστικού και επισημαίνονται οι αντίστοιχες μέγιστες αποστάσεις από όπου προκύπτουν και οι επιτρεπτές αποκλίσεις καθενός από αυτά.



Εικόνα 5-5 : Γραφική απεικόνιση της ακολουθίας τιμών $accX$ όλων των δοκιμαστικών υπογραφών και DTW αποστάσεις μεταξύ κάθε ζευγαριού.



Distances	accX1	accX2	accX3	accX4	accX5
accXT	3697.6	2492.4	3734.6	3327.4	2968.2

Εικόνα 5-6 : Γραφική απεικόνιση της πρότυπης ακολουθίας τιμών *accX* και οι DTW αποστάσεις της με κάθε μία από της *accX* ακολουθίες των δοκιμαστικών υπογραφών.

$$\begin{array}{l}
 \text{MaxAccX1} = 1075 \\
 \text{MaxAccX2} = 1116 \\
 \text{MaxAccX3} = 1047 \\
 \text{MaxAccX4} = 1029 \\
 \text{MaxAccX5} = 1121
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 \text{MaxAccXT} = \frac{1075+1116+1047+1029+1121}{5} = 1077.7 \\
 \text{MaxDistance} = |1029 - 1121| = 92
 \end{array}
 \right.$$

Εικόνα 5-7 : Υπολογισμός πρότυπης τιμής του καθολικού χαρακτηριστικού *MaxAccX* και μέγιστης απόστασης μεταξύ των τιμών των δοκιμαστικών υπογραφών.

Αφού υπολογιστούν, με τον παραπάνω τρόπο, όλα τα πρότυπα τοπικά και καθολικά χαρακτηριστικά και οι αντίστοιχες αποκλίσεις τους, αποθηκεύονται μαζί με τα στοιχεία του χρήστη, σε ένα νέο αρχείο που δημιουργείται από το σύστημα για αυτό το σκοπό.

```

-- User :

FirstName : Leuteris
LastName : Voumvourakis

-- Accelerations and tilts :

AccX : 989.2 988.6 985.2 1002.6 1014.6 1016.8 1048.8 1048.8 1066.0 1066.2 ..... 99.6
AccY : -45.0 -46.2 -48.0 -48.0 -48.8 -49.8 -46.4 -48.4 -44.6 -60.2 -58.6 ..... -9.8
AccZ : 8.0 -13.6 -75.2 -78.0 -163.4 -265.0 -318.4 -445.8 -478.6 -593.2 ..... -1019.8
AccXYZ : 990.8771 990.02747 988.70685 1006.33215 1040.5078 ..... 1025.0261
TiltX : 1.5230649 1.5101969 1.4702898 1.3962154 1.3104713 1.265374 ..... 0.09714343
TiltY : -0.04548833 -0.04671002 -0.048432797 -0.049031068 -0.04985364 ..... -0.009869766
TiltZ : 0.00805825 -0.03614482 -0.07774243 -0.15895675 -0.251717 -0.2979079 ..... -1.4702905

-- Max and Min values :
MaxAccX : 1077.6
MaxAccY : 458.0
MaxAccZ : 8.0
MaxAccXYZ : 1392.6653
MaxTiltX : 1.5230649
MaxTiltY : 0.73481923
MaxTiltZ : 0.00805825
MinAccX : -232.8
MinAccY : -251.6
MinAccZ : -1351.8
MinAccXYZ : 641.31433
MinTiltX : -0.21215002
MinTiltY : -0.21130054
MinTiltZ : -1.5553071

-- Errors :
AccXError : 7068.0
AccYError : 8254.5
AccZError : 4824.0
AccXYZError : 5161.3057
TiltXError : 7.1884384
TiltYError : 8.080507
TiltZError : 6.8746433
DurationError : 0.36749983
MaxAccXError : 204.8
MaxAccYError : 267.0
MaxAccZError : 204.8
MaxAccXYZError : 177.362
MaxTiltXError : 0.15707964
MaxTiltYError : 0.400302
MaxTiltZError : 0.15707964
MinaxAccXError : 279.0
MinAccYError : 298.5
MinAccZError : 204.8

-- Duration :
Duration : 6.2202

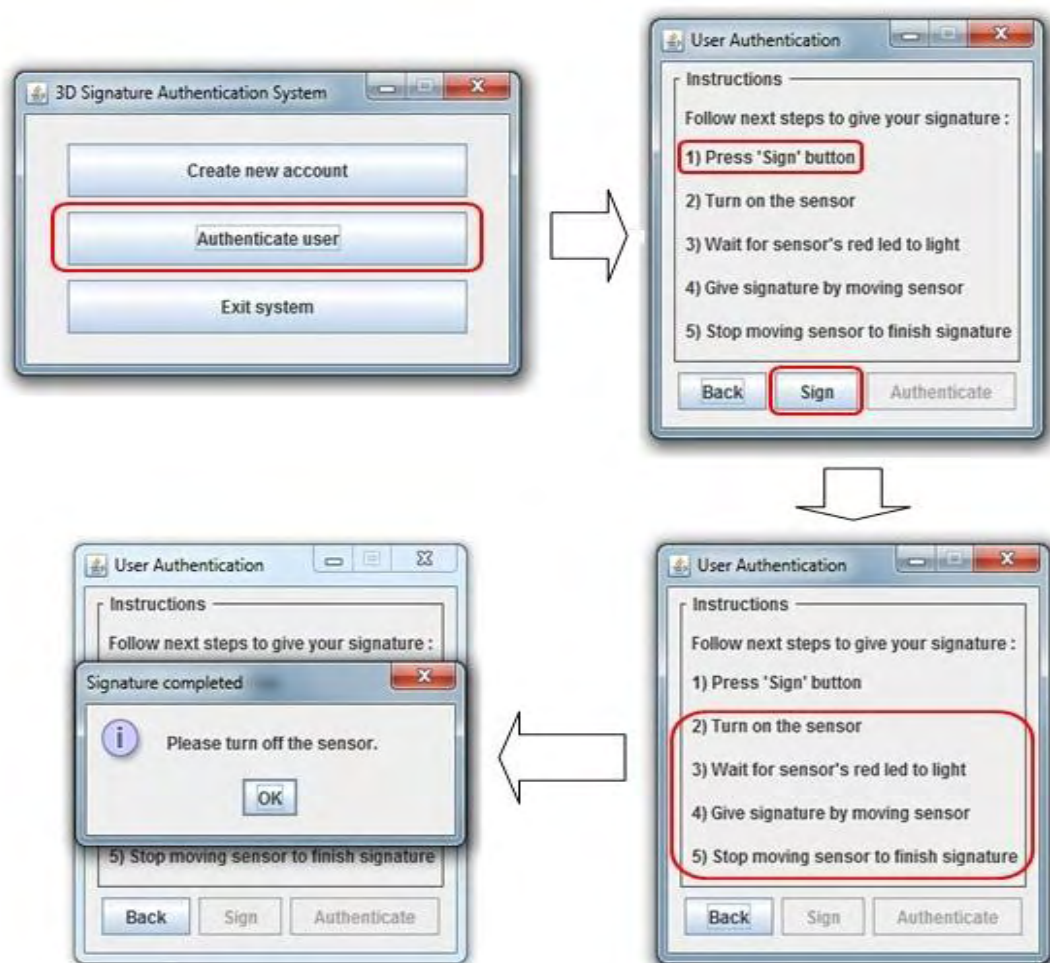
```

Εικόνα 5-8 : Αρχείο συστήματος που περιλαμβάνει τις πληροφορίες του χρήστη και τα δεδομένα του προτύπου υπογραφής.

5.2.1 Αναγνώριση χρήστη

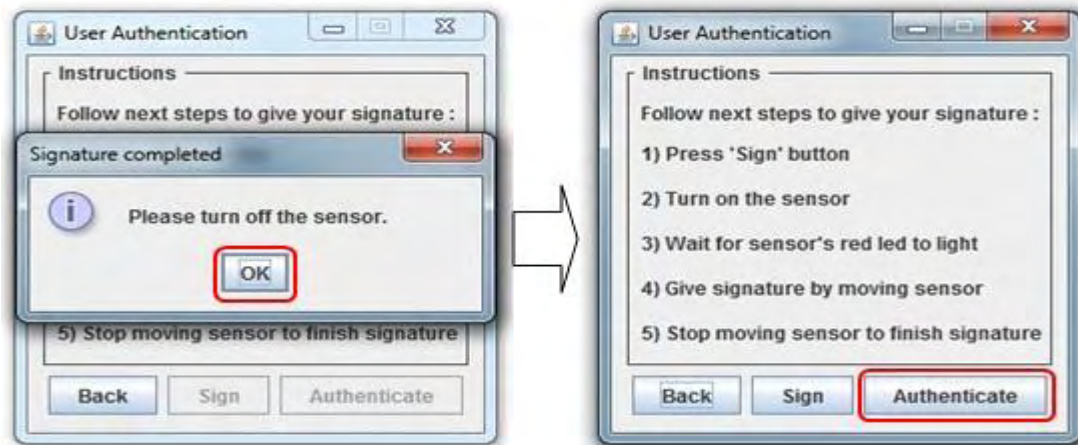
Η δεύτερη διαθέσιμη λειτουργία του συστήματος αυθεντικοποίησης είναι η αναγνώριση ενός εγγεγραμμένου χρήστη. Ακολουθούν οι ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν από τον χρήστη προκειμένου να γίνει αναγνώριση του από το σύστημα.

Βήμα 1^ο : Εκτέλεση υπογραφής



Η εκτέλεση της - προς αναγνώριση - υπογραφής γίνεται με τρόπο όμοιο με αυτόν της εκτέλεσης μίας δοκιμαστικής υπογραφής. Με τον ίδιο τρόπο εξάγονται από το σύστημα και τα τοπικά και καθολικά χαρακτηριστικά της.

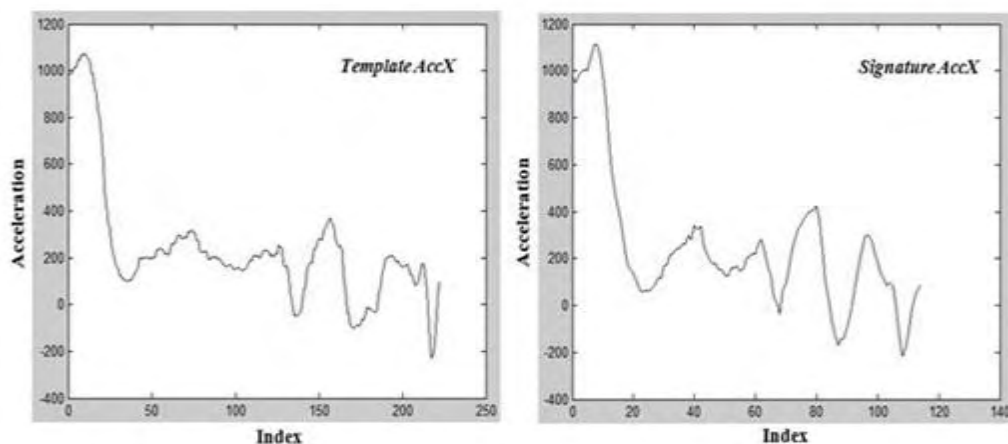
Βήμα 2^ο : Έλεγχος υπογραφής



Όταν ο χρήστης ζητήσει την αυθεντικοποίηση της υπογραφής του από το σύστημα, τα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν συγκρίνονται με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά όλων των αποθηκευμένων προτύπων. Για να επιτευχθεί το ταίριασμα της υπογραφής με κάποιο από τα πρότυπα απαιτείται τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους να μην απέχουν περισσότερο από το όριο απόκλισης που ορίζεται από το εν λόγω πρότυπο. Η διαδικασία σύγκρισης εκτελείται για όλα τα τοπικά και καθολικά χαρακτηριστικά της υπογραφής και του προτύπου.

$$\text{DTW_Distance}(\text{Template AccX}, \text{Signature AccX}) = 6130.4 < 7068.0$$

Template's and signature's AccX → *Matched* *AccX Deviation*



Εικόνα 5-9 : Επιτυχής σύγκριση του καθολικού χαρακτηριστικού MaxAccX υπογραφής και προτύπου

Template MaxAccX = 1077.6	Signature MaxAccX = 1112.0
$ \text{Template MaxAccX} - \text{Signature MaxAccX} = 34.4 < \boxed{204.8}$	
Template's and signatures MaxAccX → <i>Matched</i>	
	<i>MaxAccX Deviation</i>

Εικόνα 5-10: Επιτυχής σύγκριση του καθολικού χαρακτηριστικού MaxAccX υπογραφής και προτύπου

Βήμα 3ο : Αναγνώριση ή απόρριψη χρήστη



6 *Επίλογος*

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, υλοποιήθηκε ένα βιομετρικό σύστημα αναγνώρισης υπογραφής το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο προσπέλασης των χρηστών σε οποιοδήποτε ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα. Η περιγραφή του συστήματος που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας, ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από την χρήση του και με την αναφορά πιθανών μελλοντικών επεκτάσεων και προσθηκών σε αυτό.

6.1 *Συμπεράσματα*

Το σύστημα που υλοποιήθηκε παρέχει ικανοποιητικά επίπεδα ασφάλειας και αξιοπιστίας όσο αναφορά τον έλεγχο πρόσβασης και αποτελεί μια καλή επιλογή για την αναγνώριση των χρηστών σε πληροφορικά συστήματα. Ωστόσο, η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων, συνήθως περιβαλλοντικών και ψυχολογικών οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια των δεδομένων του συστήματος, γεγονός σύνθηδες στο σύνολο των βιομετρικών συστημάτων. Για παράδειγμα, η απόδοση του συστήματος μπορεί να επηρεαστεί από μία πιο νευρική εκτέλεση της υπογραφής από τον χρήστη ή από το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου παρατηρείται ελάσσονα αλλοίωση του τρόπου εκτέλεσης της υπογραφής. Όσον αφορά τον χρόνο που απαιτεί το σύστημα για την αναγνώριση ενός συγκεκριμένου χρήστη, αυτός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος και ανάλογος του πλήθους των εγγεγραμμένων – στο σύστημα- χρηστών καθώς επίσης και του όγκου των καταγεγραμμένων δεδομένων που αφορούν την υπογραφή του καθενός.

Επιπροσθέτως, τόσο το ποσοστό επιτυχής αναγνώρισης, όσο και ο χρόνος απόκρισης του συστήματος, επηρεάζονται από ορισμένες μεταβλητές παραμέτρους λειτουργίας του ασύρματου αισθητήρα και του συστήματος αυθεντικοποίησης, στο σύνολό του. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερος ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα, συνεπάγεται μεγαλύτερο όγκο καταγεγραμμένων δεδομένων που αφορούν την κίνηση της υπογραφής, και επομένως μεγαλύτερα ποσοστά ορθής αναγνώρισης χρηστών αλλά και αυξημένο χρόνο απόκρισης. Αντίθετα, μικρότερος ρυθμός δειγματοληψίας οδηγεί στην συλλογή λιγότερων δεδομένων της κίνησης της υπογραφής και συνεπώς

μικρότερα ποσοστά επιτυχής αναγνώρισης αλλά και καλύτερος χρόνος απόκρισης. Επιπλέον, όσο μεγαλύτεροι είναι οι παράγοντες του συστήματος αυθεντικοποίησης που καθορίζουν τις μέγιστες επιτρεπτές αποκλίσεις των χαρακτηριστικών των προτύπων, τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό λαθεμένης απόρριψης των χρηστών από το σύστημα. Ωστόσο το γεγονός αυτό, επιφέρει περαιτέρω πολυπλοκότητα κατά τη διαδικασία σύγκρισης και συνεπώς μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης.

6.2 Μελλοντικές προσθήκες και επεκτάσεις

Παρόλη την αποτελεσματικότητα τους συστήματος στην αναγνώριση των υπογραφών των χρηστών, υπάρχει η δυνατότητα αρκετών επεκτάσεων και προσθηκών που είναι ικανές να βελτιστοποιήσουν την απόδοσή του. Μία πιθανή προσθήκη, θα ήταν η χρήση, περισσότερων του ενός, κόμβων αισθητήρων για την ακριβέστερη καταγραφή των δεδομένων της εκτελούμενης κίνησης. Ενδεχόμενη προσθήκη θα μπορούσε επίσης να αποτελέσει η εξαγωγή, από τα δεδομένα επιτάχυνσης που καταγράφονται, περισσότερων χαρακτηριστικών ενδεικτικών της εκάστοτε υπογραφής.

Μελλοντική επέκταση θα μπορούσε να αποτελέσει η προσθήκη μίας επιπλέον λειτουργίας που θα επιτυγχάνει μερική ανανέωση των δεδομένων του αποθηκευμένου προτύπου υπογραφής ενός χρήστη, κάθε φορά που αυτός αναγνωρίζεται από το σύστημα. Επιπροσθέτως, η εφαρμογή του συστήματος μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί ώστε να υποστηρίζει την εξακρίβωση της ταυτότητας του χρήστη αντί της αναγνώρισής του. Τέλος, με κάποιες απαραίτητες μετατροπές η εφαρμογή θα μπορούσε να μεταφερθεί σε συσκευές έξυπνων κινητών τηλεφώνων τα οποία ενσωματώνουν αισθητήρα επιτάχυνσης.

7 *Βιβλιογραφία*

- [1] Νικόλαος Παπαδάκης “Ασφάλεια πληροφοριακών Συστημάτων και δικτύων” Διαλέξεις 2008, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ Τηλεπικοινωνιών και δικτύων Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- [2] Ντίνα Καμπουράκη “Ταυτοποίηση και αυθεντικοποίηση” Διαλέξεις 2011, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών / Επικοινωνιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Biometrics>
- [4] Jain, A. K. (28-30 April 2004), "Biometric recognition: how do I know who you are?" Signal Processing and Communications Applications Conference, 2004. Proceedings of the IEEE 12th: 3 – 5.
- [5] <http://www.dadehabzar.ir/en/activities/biometrics.php>
- [6] <http://www.cs.bham.ac.uk/~mdr/teaching/modules03/security/students/SS3/handout/index.html>
- [7] <http://misbiometrics.wikidot.com>
- [8] J.L. Wayman, A.K. Jain, Davide Maltoni, Dario Maio (16 December 2004) “Biometric Systems: Technology, Design and Performance Evaluation”.
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4
- [10] Sinem Coleri Ergen (10 September, 2004) ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary
<http://pages.cs.wisc.edu/~suman/courses/838/papers/zigbee.pdf>
- [11] Robert Faludi, (December 31, 2010) “Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing”
- [12] <http://bullseye.xbow.com:81/Products/productdetails.aspx?sid=253>
- [13] <http://ubi.cs.washington.edu/wiki/index.php/IMote2>
- [14] http://shm.cs.uiuc.edu/files/docs/GettingStarted_MultiHop.pdf

- [15] http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00005106.pdf
- [16] http://wsn.cse.wustl.edu/index.php?title=Installing_the_Imote2_USB_Boot_Loader
- [17] <http://www.libelium.com/support/waspmote>
- [18] <http://www.clear.rice.edu/comp551/resources/Accelerometer-LIS3LV02DL.pdf>
- [19] <http://www.coalesenses.com/index.php?page=isense-hardware>
- [20] A signature Verification Methodology using Accelerometer Equipped Devices
- [21] http://en.wikipedia.org/wiki/Moving_average
- [22] TU Delft Embedded Real-Time Systems Course 2011 – 2012, Signal Processing In4073 Embedded Real-Time Systems, Introduction to Digital Filtering
- [23] J.F. Aguilar, S.Krawczyk, J.O. Garcia, and A.K.Jain, Fusion of Local and Regional Approaches for On-Line Signature Verification, Proc Intl Workshop Biometric System, 2005
- [24] http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00268887.pdf
- [25] On-Line Signature Verification System Based of Fusion of Global and Local Information
- [26] Alexandros Zaharis, Adamantini Martini, Panayotis Kikiras, George Stamoulis “User authentication Method and Implementation Using a Three-Axis Accelerometer” 2010. http://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-16644-0_18
- [27] Jiayang Liu, Zhen Wang, Lin Zhong, Jehan Wickramasuriya, Venu Vasudevan “uWave : Accelerometer-Based Personalized Gesture Recognition”
- [28] http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_time_warping
- [29] Pavel Senin, (December 2008), “Dynamic Time Warping Algorithm Review” <https://csdl-techreports.googlecode.com/svn/trunk/techreports/2008/08-04/08-04.pdf>
- [30] http://homepages.inf.ed.ac.uk/group/sli_archive/slip0809_c/s0562005/theory.html
- [31] <http://arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>
- [32] <http://www.libelium.com/development/waspmote>

Παράρτημα – Αποσπάσματα κώδικα

A) Επικοινωνία εφαρμογής με σειριακή Θύρα

Package Communication με κλάσεις τις COMControler και SerialReader

COMControler.java

```
package Communication;

import gnu.io.CommPort;
import gnu.io.CommPortIdentifier;
import gnu.io.SerialPort;
import java.io.InputStream;

public class COMControler{

    public static SerialPort serialPort;
    public static String mode;

    public COMControler(){

        super();
    }

    public void connect(String portName,int baudRate) throws Exception{

        CommPortIdentifier portIdentifier = CommPortIdentifier.getPortIdentifier(portName);

        if(portIdentifier.isCurrentlyOwned()){

            System.out.println("Port is currently in use");
        }

        else{
            CommPort commPort = portIdentifier.open(this.getClass().getName(),2000);

            if (commPort instanceof SerialPort){

                serialPort = (SerialPort)commPort;
                serialPort.setSerialPortParams(baudRate,SerialPort.DATABITS_8,
                                                SerialPort.STOPBITS_1,
                                                SerialPort.PARITY_NONE);

                InputStream in = serialPort.getInputStream();
                serialPort.addEventListener(new SerialReader(in));
                serialPort.notifyOnDataAvailable(true);
            }
            else{
                System.out.println("Error: Only serial ports are handled by this application.");
            }
        }
    }

    public void disconnect() throws Exception{

        serialPort.removeEventListener();
        serialPort.close();
    }
}
```

SerialReader.java

```
package Communication;

import Signature.SignatureGenerator;
import gnu.io.SerialPortEvent;
import gnu.io.SerialPortEventListener;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;

public class SerialReader implements SerialPortEventListener {

    private InputStream in;

    public SerialReader(InputStream in){

        this.in = in;
    }

    public void serialEvent(SerialPortEvent arg0){

        // Handle Recieved packet //
    }

}
```

B) Αλγόριθμος Dynamic Time Warping (DTW)

Package DTW με κλάσεις τις DtwAlgorithm και Position

DtwAlgorithm.java

```
package Dtw;

import java.util.ArrayList;
import java.util.Collections;

public class DtwAlgorithm{

    private float[] X,Y;
    private float[][] cost,dtw;
    private int window;
    private float distance;
    private ArrayList<Position> optimalPath;

    public DtwAlgorithm(float[] X,float[] Y,int window){

        this.X = X;
        this.Y = Y;
        this.window = window;

        cost = new float[X.length][Y.length];
        initCostArray();

        dtw = new float[X.length+1][Y.length+1];
        initDtwArray();

        distance = 0;
        optimalPath = new ArrayList<>();
    }

    public void runAlgorithm(){
```

```

        int w = (int)Math.max(window,Math.abs(X.length-Y.length));

        for(int i=1;i<=X.length;i++){
            for(int j=(int)Math.max(1,i-w);j<=Math.min(Y.length,i+w);j++){
                dtw[i][j] = cost[i-1][j-1] + getMinimum(dtw[i-1][j],
                                                         dtw[i][j-1],
                                                         dtw[i-1][j-1]);
            }
        }

        distance = dtw[X.length][Y.length];
    }

    private void initDtwArray(){
        for(int i=0;i<=X.length;i++){
            for(int j=0;j<=Y.length;j++){
                dtw[i][j] = Float.MAX_VALUE;
            }
        }

        dtw[0][0] = 0;
    }

    private void initCostArray(){
        for(int i=0;i<X.length;i++){
            for(int j=0;j<Y.length;j++){
                cost[i][j] = Math.abs(X[i] - Y[j]);
            }
        }
    }

    private float getMinimum(float a,float b,float c){
        if(a<=b){
            if(a<=c){return a;}
            else{return c;}
        }
        else{
            if(b<=c){return b;}
            else{return c;}
        }
    }

    private void computeOptimalPath(){
        int i = X.length;
        int j = Y.length;

        Position pos = new Position(i-1,j-1);
        optimalPath.add(pos);

        while(i>=1 && j>=1){
            if(i==1 && j==1){break;}

            if(i==1){j--;}

            else if(j==1){i--;}

            else{
                if(dtw[i-1][j] == getMinimum(dtw[i-1][j],
                                                dtw[i][j-1],
                                                dtw[i-1][j-1])){

```

```

        i--;
    }

    else if(dtw[i][j-1] == getMinimum(dtw[i-1][j],
                                      dtw[i][j-1],
                                      dtw[i-1][j-1])){

        j--;
    }

    else{
        i--;
        j--;
    }
}

pos = new Position(i-1,j-1);
optimalPath.add(pos);
}

Collections.reverse(optimalPath);
}

public float getDistance(){

    return distance;
}

public ArrayList<Position> getOptimalPath(){

    computeOptimalPath();

    return optimalPath;
}
}

```

Position.java

```

package Dtw;

public class Position {

    private int firstPos,secondPos;

    protected Position(int firstPos,int secondPos){

        this.firstPos = firstPos;
        this.secondPos = secondPos;
    }

    public int getFirstPosition(){

        return firstPos;
    }

    public int getSecondPosition(){

        return secondPos;
    }
}

```

Γ) Υπολογισμός μέσου όρου ακολουθιών

Μέθοδος computeDtwAverage (κλάση TemplateGenerator.java)

```
private List<Float> computeDtwAverage(List<float[]> sequences,String feature){

    DtwAlgorithm dtw;
    ArrayList<Position> path;

    List<Float> result = new ArrayList<>();
    float[] tmpResult;
    float[] finalResult;
    int[] minIndexes = new int[2];

    int avgFixer,minIndex;
    float maxDistance = Float.MIN_VALUE;
    float minDistance = Float.MAX_VALUE;

    for(int i=0;i<sequences.size();i++){

        for(int j=i+1;j<sequences.size();j++){

            dtw = new DtwAlgorithm(sequences.get(i),sequences.get(j));
            dtw.runAlgorithm();

            if(dtw.getDistance()>maxDistance){

                maxDistance = dtw.getDistance();

            }

            if(dtw.getDistance()<minDistance){

                minDistance = dtw.getDistance();
                minIndexes[0] = Math.max(i,j);
                minIndexes[1] = Math.min(i,j);

            }

        }

    }

    dtw = new DtwAlgorithm(sequences.get(minIndexes[0]),
sequences.get(minIndexes[1]));

    dtw.runAlgorithm();
    path = dtw.getOptimalPath();

    tmpResult = new float[path.size()];

    for(int i=0;i<path.size();i++){

        tmpResult[i] =(sequences.get(minIndexes[0])[path.get(i).getFirstPosition()]+
sequences.get(minIndexes[1])[path.get(i).getSecondPosition()])
/(float)2;

    }

    sequences.remove(minIndexes[0]);
    sequences.remove(minIndexes[1]);

    finalResult = new float[tmpResult.length];
    System.arraycopy(tmpResult,0,finalResult,0,tmpResult.length);

    avgFixer = 1;

    while(!sequences.isEmpty()){

        avgFixer++;
        minDistance = Float.MAX_VALUE;
        minIndex = 0;

    }

}
```



```

for(int i=0;i<sequences.size();i++){

    dtw = new DtwAlgorithm(finalResult,sequences.get(i));
    dtw.runAlgorithm();

    if(dtw.getDistance()<minDistance){

        minDistance = dtw.getDistance();
        minIndex = i;
    }
}

dtw = new DtwAlgorithm(finalResult,sequences.get(minIndex));
dtw.runAlgorithm();
path = dtw.getOptimalPath();

tmpResult = new float[path.size()];

for(int i=0;i<path.size();i++){

    tmpResult[i] = (avgFixer*finalResult[path.get(i).getFirstPosition()]+
sequences.get(minIndex)[path.get(i).getSecondPosition()])
/((float)(avgFixer+1));

}

sequences.remove(minIndex);

finalResult = new float[tmpResult.length];
System.arraycopy(tmpResult,0,finalResult,0,tmpResult.length);
}

for(int i=0;i<finalResult.length;i++){

    result.add(finalResult[i]);
}

setLocalFeatureErrors(feature,maxDistance);

return result;
}

```

Δ) Υλοποίηση αισθητήρα Wasp mote

Προγραμματισμός στο Wasp mote-IDE που είναι βασισμένο σε Arduino-IDE

```

char data[100];                // Payload Char Array
int MPP = 6;                   // MPP = Measurements per packet
int NUM = 3;                   // NUM = Number of Unfiltered //Measurements

int filteredAccs[MPP][3];      // Array for filtered measurements
int unFilteredAccs[NUM][3];    // Array of unfiltered measurements

int filteredIndex = 0;

int accX_MA,accY_MA,accZ_MA;   // Moving averages of Accs

int staticFor = 0;              // Number of sampling periods that sensor is
stationary (After Movement)

int threshold = 30;             // Accelerations max deviation for immobility
int maxRounds = 20;            // Max Rounds of immobility
int sampleDelay = 50;          // Sampling period (ms)

long startTime,stopTime;
long startOfSign,endOfSign;

```

```

void setup(){

    //Powers accelerometer
    ACC.ON();

    // Inits the XBee 802.15.4 library
    xbee802.init(XBEE_802_15_4,FREQ2_4G,NORMAL);

    // Powers XBee
    xbee802.ON();

    delay(3000);

    Utils.setLED(LED0,LED_ON);
    waitMovementStart();
}

void loop(){

    while(filteredIndex < MPP){

        stopTime = millis();

        if(sampleDelay-stopTime+startTime > 0){

            delay(sampleDelay-stopTime+startTime);
        }

        startTime = millis();

        updateUnFilteredAccsArray(ACC.getX(),ACC.getY(),ACC.getZ());
        computeMovingAverages();

        filteredAccs[filteredIndex][0] = accX_MA;
        filteredAccs[filteredIndex][1] = accY_MA;
        filteredAccs[filteredIndex][2] = accZ_MA;

        if(!accChanged(filteredIndex-1,filteredIndex)){

            if(checkForFinish(filteredIndex)){ return; }

        }

        else{ staticFor = 0; }

        filteredIndex++;

    }

    stopTime = millis();
    delay(sampleDelay-stopTime+startTime);
    startTime = millis();

    updateUnFilteredAccsArray(ACC.getX(),ACC.getY(),ACC.getZ());
    computeMovingAverages();

    sendMeasurementsMessage();

    filteredAccs[0][0] = accX_MA;
    filteredAccs[0][1] = accY_MA;
    filteredAccs[0][2] = accZ_MA;

    if(!accChanged(filteredIndex-1,0)){

        if(checkForFinish(0)){ return; }

    }

    else{ staticFor = 0; }

    filteredIndex = 1;

}

boolean checkForFinish(int crntIndex){

    staticFor++;

    if(staticFor == 1){

        endOfSign = millis();
    }
}

```

```

        return false;
    }

    if(staticFor == maxRounds){

        ACC.close();
        sendFinishMessage(maxRounds-(crntIndex+1));
        xbee802.OFF();
        return true;
    }

    return false;
}

void waitMovementStart(){

    startTime = millis();

    initUnFilteredAccsArray(ACC.getX(),ACC.getY(),ACC.getZ());

    filteredAccs[1][0] = unFilteredAccs[0][0];
    filteredAccs[1][1] = unFilteredAccs[0][1];
    filteredAccs[1][2] = unFilteredAccs[0][2];

    do{
        filteredAccs[0][0] = filteredAccs[1][0];
        filteredAccs[0][1] = filteredAccs[1][1];
        filteredAccs[0][2] = filteredAccs[1][2];

        stopTime = millis();
        delay(sampleDelay-stopTime+startTime);
        startTime = millis();

        startOfSign = startTime;

        updateUnFilteredAccsArray(ACC.getX(),ACC.getY(),ACC.getZ());
        computeMovingAverages();

        filteredAccs[1][0] = accX_MA;
        filteredAccs[1][1] = accY_MA;
        filteredAccs[1][2] = accZ_MA;

    }while(!accChanged(0,1));

    filteredIndex = 2;
}

boolean accChanged(int prvIndex,int crntIndex){

    if(abs(filteredAccs[prvIndex][0] - filteredAccs[crntIndex][0]) <= threshold &&
        abs(filteredAccs[prvIndex][1] - filteredAccs[crntIndex][1]) <= threshold &&
        abs(filteredAccs[prvIndex][2] - filteredAccs[crntIndex][2]) <= threshold){
    return false; }

    return true;
}

void initUnFilteredAccsArray(int accX0,int accY0,int accZ0){

    int i=0;

    for(i=0;i<NUM;i++){

        unFilteredAccs[i][0] = accX0;
        unFilteredAccs[i][1] = accY0;
        unFilteredAccs[i][2] = accZ0;
    }
}

void updateUnFilteredAccsArray(int accX,int accY,int accZ){

    int i,j;

    for(i=NUM-1;i>0;i--){

        for(j=0;j<3;j++){

```

```

        unFilteredAccs[i][j] = unFilteredAccs[i-1][j];
    }
}

unFilteredAccs[0][0] = accX;
unFilteredAccs[0][1] = accY;
unFilteredAccs[0][2] = accZ;
}

void computeMovingAverages() {

    int i;
    double factor;

    accX_MA = unFilteredAccs[0][0];
    accY_MA = unFilteredAccs[0][1];
    accZ_MA = unFilteredAccs[0][2];

    for(i=1; i<NUM; i++) {

        accX_MA += unFilteredAccs[i][0];
        accY_MA += unFilteredAccs[i][1];
        accZ_MA += unFilteredAccs[i][2];
    }

    factor = 1.0 / NUM;

    accX_MA = (int) accX_MA * factor;
    accY_MA = (int) accY_MA * factor;
    accZ_MA = (int) accZ_MA * factor;
}

void sendMeasurementsMessage() {

    sprintf(data, "#P#%d,%d,%d#%d,%d,%d#%d,%d,%d#%d,%d,%d#%d,%d,%d#%d,%d,%d#%c#",
        filteredAccs[0][0], filteredAccs[0][1], filteredAccs[0][2],
        filteredAccs[1][0], filteredAccs[1][1], filteredAccs[1][2],
        filteredAccs[2][0], filteredAccs[2][1], filteredAccs[2][2],
        filteredAccs[3][0], filteredAccs[3][1], filteredAccs[3][2],
        filteredAccs[4][0], filteredAccs[4][1], filteredAccs[4][2],
        filteredAccs[5][0], filteredAccs[5][1], filteredAccs[5][2], '\n');

    xbee802.send("000000000000FFFF", data);          //broadcast mode
}

void sendFinishMessage(int useless) {

    sprintf(data, "#P#MOVEMENT_FINISHED#D#%lu#U#%d#%c", endOfSign-startOfSign, useless, '\n');

    xbee802.send("000000000000FFFF", data);          //broadcast mode
}

```